



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA CHEMICKÁ**

FACULTY OF CHEMISTRY

**ÚSTAV CHEMIE POTRAVIN A BIOTECHNOLOGIÍ**

INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY

**APLIKACE SUPERABSORBENTŮ DO PŮDY A JEJÍ VLIV  
NA RŮST ROSTLIN**

APPLICATION OF SUPERABSORBENTS IN SOIL AND ITS INFLUENCE ON PLANT GROWTH

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Petra Závodská**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**prof. Ing. Martina Klučáková, Ph.D.**

**BRNO 2021**

## Zadání diplomové práce

Číslo práce: FCH-DIP1577/2020 Akademický rok: 2020/21  
Ústav: Ústav chemie potravin a biotechnologií  
Studentka: **Bc. Petra Závodská**  
Studijní program: Chemie a technologie potravin  
Studijní obor: Potravinářská chemie a biotechnologie  
Vedoucí práce: **prof. Ing. Martina Klučáková, Ph.D.**

### Název diplomové práce:

Aplikace superabsorbentů do půdy a její vliv na růst rostlin

### Zadání diplomové práce:

1. Seznámit se s problematikou superabsorbentů s důrazem na materiály s inkorporovanými nutrienty.
2. Seznámit se s možnostmi studia jejich vlivu na růst rostlin.
3. Na základě poznatků získaných v předchozích bodech navrhnout vhodnou rostlinu a metody vhodné ke studiu a provést růstové experimenty.
4. Zhodnotit výsledky experimentů a formulovat závěry.

### Termín odevzdání diplomové práce: 28.5.2021:

Diplomová práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí diplomové práce.

-----  
Bc. Petra Závodská  
student(ka)

-----  
prof. Ing. Martina Klučáková, Ph.D.  
vedoucí práce

-----  
prof. RNDr. Ivana Márová, CSc.  
vedoucí ústavu

V Brně dne 1.2.2021

-----  
prof. Ing. Martin Weiter, Ph.D.  
děkan

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá přípravou a studiem superabsorbentů s obsahem nutrientů, konkrétně makronutrientů dusíku, fosforu a draslíku. Superabsorbenty jsou polymery, nejčastěji polymery kyseliny akrylové, které dokážou pojmout obrovské množství vody, aniž by se v nich rozpustily. Ve své struktuře jsou schopny vodu udržet a z tohoto důvodu jsou velmi perspektivními látkami pro použití v zemědělství.

Experimentální část byla zaměřena na porovnání pěstované kukuřice s přítomností superabsorbentů v půdě a v samotné půdě bez přídavku superabsorbentů. Rostliny byly pěstovány ve třech časových úsecích, konkrétně 46 dní, 60 dní a 74 dní. Po dobu experimentů byly rostliny pěstovány s dostatkem vláhy a v kontrolovaných podmínkách pěstebního boxu pod UV lampou, která simulovala den a noc, kdy byla 12 hodin zapnuta a 12 hodin vypnuta. Nakonec byla provedena obrazová analýza v programu HARFA, ze které jsme dostali informaci o rozvětvení kořenů. Výsledky byly doplněny o rozborů půdy a rostlin.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Superabsorpční polymery, kukuřice, růst rostlin, nutrienty, řízené uvolňování, půda

## **ABSTRACT**

This thesis is focused on description of superabsorbents with controlled released of nutrients, specifically macronutrients nitrogen, phosphorus and kalium. Superabsorbents are polymers, mostly acrylic acid polymers, that can absorb huge amount of water without dissolving in it. In its structure they can hold water and thanks to this they are very perspective materials for agricultural usage.

Experimental part was focused on growing corn with use of superabsorbents and control samples without use of superabsorbents. Plants were growth for 3 time periods, specifically 46, 60 and 74 days. During the experiments, plats were growth without water stress and in controlled conditions in growing box under UV lamp that simulated day and night by turning on and off after 12 hours. At the end, an image analysis was performed in HARFA program, from which we got information about branching of the roots. Results were supplemented by soil and plants analysis.

## **KEYWORDS**

Superabsorbent polymers, corn, plants growth, nutrients, controlled release, soil

ZÁVODSKÁ, Petra. *Aplikace superabsorbentů do půdy a její vliv na růst rostlin* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-26]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/131354>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie potravin a biotechnologií. Vedoucí práce Martina Klučáková.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být použita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucí diplomovou práce a děkana FCH VUT.

.....  
Podpis studenta

## **PODĚKOVÁNÍ**

*Tímto bych chtěla velmi poděkovat mé vedoucí prof. Ing. Martině Klučákové, Ph.D. za poskytnutí cenných rad, připomínek a veškerou pomoc při zpracování této práce a s jejím měřením. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Petru Sedláčkovi, Ph.D. za pomoc při zpracování dat v programu HARFA a ImageJ. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat firmě Agrolab s.r.o. Troubsko za zhotovení rozborů půdy a rostlin.*

## OBSAH

1	Úvod.....	9
2	Teoretická část.....	10
2.1	Superabsorpční polymery .....	10
2.1.1	Postupné uvolňování nutrientů a vliv půdy na růst rostlin.....	11
2.1.2	Nutrienty důležité pro rostliny .....	11
2.2	Rostlinná buňka .....	14
2.2.1	Buněčné organely .....	15
2.3	Anatomie rostlin .....	17
2.3.1	Kořen.....	17
2.3.2	Stonek.....	17
2.3.3	List.....	18
2.4	Fotosyntéza.....	18
2.4.1	Světelná fáze .....	18
2.4.2	Temnostní fáze .....	19
2.5	Kukuřice setá .....	20
2.5.1	Chemické složení .....	20
2.5.2	Příjem živin .....	20
2.5.3	Stádia růstu kukuřice .....	21
2.5.4	Využití v potravinářství.....	22
2.6	Půda .....	23
2.6.1	Rozdělení půdy.....	23
2.6.2	Vliv pH půdy na dostupnost živin.....	24
3	Současný stav řešení problematiky .....	25
4	Praktická část.....	27
4.1	Použité chemikálie.....	27
4.2	Použité přístroje.....	27

4.3	Příprava superabsorbentů .....	28
4.4	Pěstební experiment.....	29
4.4.1	Vyhodnocení pěstebního experimentu .....	29
4.5	Rozbory půdy a rostlin .....	30
5	Výsledky a diskuze.....	31
5.1	Pěstební experiment.....	31
5.2	Rozbory půdy .....	38
5.2.1	UV/VIS, pH, vodivost.....	38
5.2.2	Rozbory půdy od firmy Agrolab spol. s.r.o. Troubsko .....	41
5.3	Rozbory rostlin .....	44
6	Závěr.....	46
7	Seznam citací.....	48
8	Seznam zkratk .....	54
9	Seznam obrázků .....	55
10	Seznam tabulek .....	56
11	Seznam příloh.....	56
12	Přílohy .....	57



# 1 ÚVOD

V dnešní době je celosvětovým problémem sucho, což je limitující faktor pro zemědělskou výrobu. Zvyšující se nedostatek vody způsobuje problémy v zemědělství, kdy z celkové spotřeby vody zabírá spotřeba v zemědělství asi 70 %. Aby bylo možné nadále produkovat potraviny, je nutné vytvořit určitý systém, který dokáže snížit spotřebu vody. Tímto systémem jsou právě superabsorpční polymery.

Superabsorpční polymery neboli superabsorbenty jsou z chemického hlediska zesíťované polyelektrolyty, které dokážou absorbovat obrovské množství vody a dalších vodných roztoků, aniž by se v nich rozpustily. Nejčastěji využívané superabsorbenty jsou polymery kyseliny akrylové. Pro svou schopnost pohltit vodu, aniž by se v ní rozpustily, nacházejí využití napříč průmysly, například ve stavebním průmyslu, ale také se používají v hygienických potřebách.

Superabsorbenty se mohou využít hlavně při pěstování rostlin při nedostatku vody, kdy účinně ukládají vodu a snižují transpiraci rostlin. Nové poznatky ale ukazují, že superabsorbenty ovlivňují rostliny i při pěstování s dostatečným zavlažováním. V přítomnosti superabsorbentů se podstatně zvýšila hmotnost kořenů a výhonků rostlin.

Práce je proto zaměřena na aplikaci superabsorbentů do půdy s dostatečným zavlažováním a následné vyhodnocení experimentů pomocí obrazové analýzy kořenů, rozborů půdy a vypěstovaných rostlin.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 SUPERABSORPČNÍ POLYMERY

V dnešní době je sucho globální problém a je důležitým limitujícím faktorem pro zemědělství. Zvyšující se nedostatek vody působí problémy hlavně v zemědělství, kdy přes 70 % celkového využití vody spotřebuje právě toto odvětví průmyslu. Proto je potřeba pro další produkci potravin vytvořit vodou zásobující systémy, které zahrnují vodohospodářské zavlažování, agronomické techniky pro úsporu vody a vhodné zemědělské hospodaření. Použití aditiv pro zlepšení zadržování vody se ukázalo být jako efektivní způsob. Z tohoto důvodu se v poslední době intenzivně studují superabsorpční polymery, které mají díky své třídídimenzionální struktuře speciální vlastnosti. Především se jedná o schopnost absorbovat a udržet přijatou vodu, což se ukazuje jako velmi perspektivní schopnost při použití v zemědělství, jelikož by mohlo docházet ke snížení spotřeby vody při zemědělské produkci [1].

Superabsorpční polymery jsou skupinou polymerů, které jsou schopny absorbovat obrovské množství vody. Typicky je množství pohlcené vody větší, než je tomu u tradičních absorbujících materiálů. Obecně obsahují síť polymerních řetězců, kterou napomáhá vytvořit síťovací činidlo. Vzniklá síť poté zabraňuje rozpouštění v kapalině. Nejčastější látkou, ze které jsou superabsorpční polymery tvořeny, je polyakrylát, který je připravován polymerací kyseliny akrylové se síťovacím činidlem. Kyselina akrylová je pak připravována z propenu, který je vedlejším produktem při výrobě benzínu [2].

Konkrétně jsou superabsorpční polymery schopny pohltit až 15–ti násobek své vlastní suché hmotnosti a mohou absorbovat vodu, roztoky elektrolytů, syntetickou močovinu, biologické tekutiny nebo solanku. Tyto polymery jsou díky obsahu karboxylových, karboxyamidových, hydroxylových, aminových a imidových skupin hydrofilní a jsou ve vodě nerozpustné. Kvůli své iontové povaze a propojené struktuře jsou schopny pojmout velké množství vody a dalších roztoků bez jejich rozpuštění, což je následek přítomnosti vodíkových můstků, které umožňují botnání polymerů. Absorpční schopnost polymerům dodává osmotický tlak, oproti tomu absorpční schopnost polymerů snižuje jejich pružnost [3].

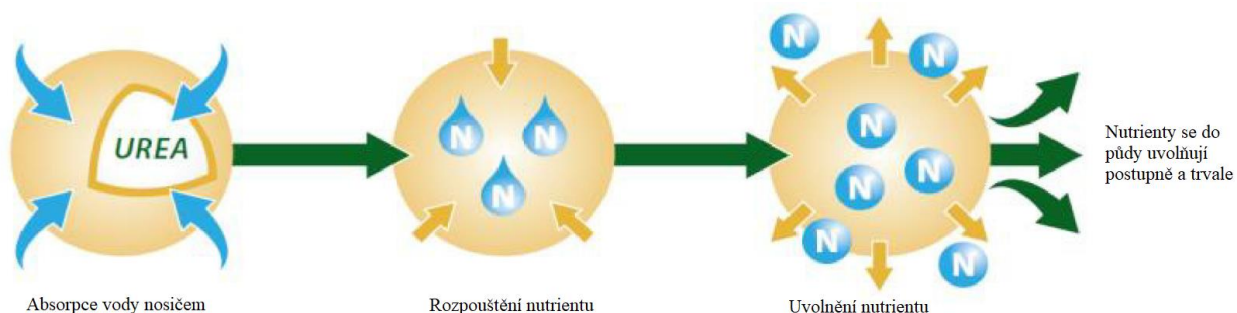
Superabsorpční polymery již nacházejí využití v běžném životě. Pravděpodobně nejčastější použití je v plenkách, kdy dokážou pojmout tekutinu, která zůstane v jejich struktuře i po menším mechanickém namáhání. V plenkách jsou polymery smíchány s celulózou ve formě dřevěných vláken, aby vytvořily jádro z polymeru superabsorbentu. Kromě plenek se jejich využití rozšiřuje do dalších odvětví průmyslu, například odstraňují problém unikání vody ve stavebním průmyslu. V tomto případě se používají polymery ve formě prášku, který se přidává do gumy a používají se při spojování cementových bloků. Kromě těchto použití se dnes snaží prosadit i v zemědělství, kdy polymery napomáhají zadržování vody v půdě a snižují její vypařování. Rovněž napomáhají vlastnímu růstu rostlin a prodlužují jejich životaschopnost [4].

Superabsorpční polymery s cíleným uvolňováním nutrientů nesou nutrienty pro rostliny. Dostupnost těchto nutrientů je buďto zpožděná, nebo je umožněna po delší dobu v porovnání s komerčními přípravky. A uvolňování je charakterizováno rychlostí chemické substance dostupné ve formě pro rostlinu. Rychlost je podstatně nižší, než je tomu u klasického uvolňování nutrientů. Při klasickém uvolňování dochází ke změně chemické substance, například k hydrolyze nebo degradaci. Postupného uvolňování můžeme dosáhnout pomocí určitých chemických a fyzikálních modifikací superabsorpčních polymerů [5].

Může se zdát, že postupné uvolňování má pouze výhody, jako například redukce toxicity, kterou způsobuje vysoká koncentrace iontů, konkrétně iontů těžkých kovů znečišťujících půdu [5][6]. Superabsorbenty také výrazně snižují ztráty nutrientů. Kromě těchto výhod mají i potenciální nevýhody. Nevýhodou může být fakt, že neexistuje standardizovaná metoda pro spolehlivé stanovení rychlosti uvolňování živin [5].

### 2.1.1 Postupné uvolňování nutrientů a vliv půdy na růst rostlin

Prvním krokem procesu uvolňování je pronikání vody do vysušeného nosiče se zakomponovaným nutrientem, superabsorpční polymery tedy začnou bobtnat. Pokud voda přes vrstvu neprojde, nedojde ani k následnému uvolnění. Naopak při rychlém prostupu skrz vrstvu dojde i k rychlému uvolnění. Rychlost absorpce je tedy důležitým faktorem. Voda se postupně dostává k vnitřní stěně ochranné vrstvy nosiče a následně dochází k rozpouštění přítomného nutrientu. Následuje vlastní proces uvolnění nutrientu do okolí. Proces uvolňování na příkladu močoviny zobrazuje Obrázek 1 [7].

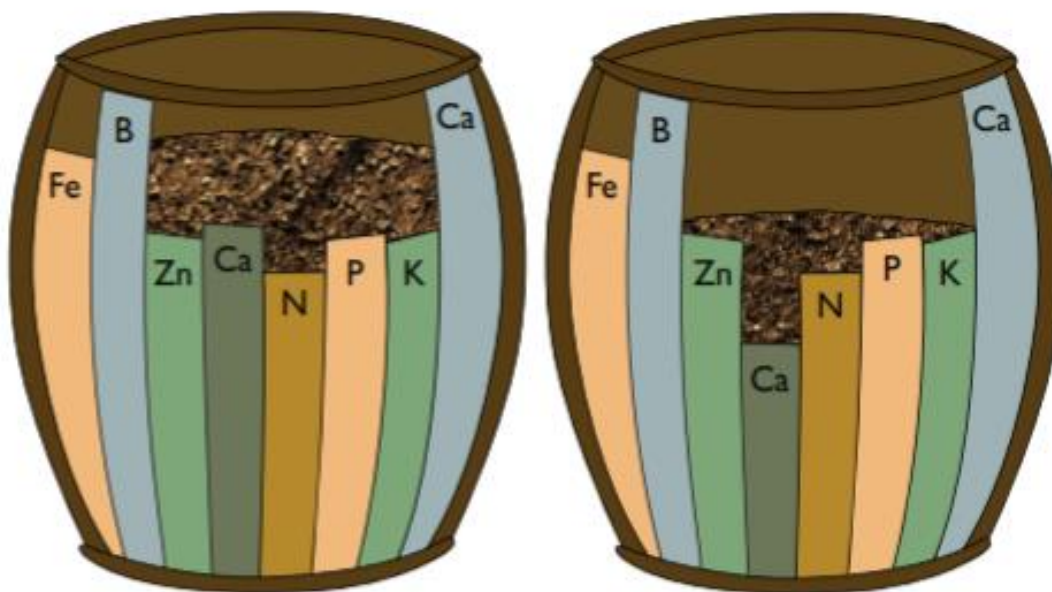


Obrázek 1. Postupné uvolňování nutrientů [7]

### 2.1.2 Nutrienty důležité pro rostliny

Nutrienty, které jsou pro rostliny esenciální, tedy důležité pro správný růst, se rozdělují do tří skupin, a to na primární, sekundární a stopové nutrienty. Primární nutrienty, také označované jako makronutrienty, jsou většinou potřebné ve větším množství. Řadí se do nich uhlík, vodík, dusík, kyslík, fosfor a draslík. Sekundární nutrienty jsou většinou potřebné v menším množství oproti primárním a řadí se do nich vápník, hořčík a síra. Stopové nutrienty jsou potřebné jen ve velmi malém množství a zástupci jsou bor, chlor, měď, železo, mangan, molybden a zinek. Každý z těchto prvků ovlivňuje specifické funkce růstu rostlin a růst rostliny je omezen nutrientem, který se vyskytuje v nejmenším množství.

Obrázek 2 zobrazuje porovnání obsahu nutrientů ve dvou barelech, kdy v levém barelu je nejméně dusíku a je tak limitujícím nutrientem pro růst. V pravém je nejméně vápníku a v tomto případě je limitujícím nutrientem právě vápník [8].



Obrázek 2. Vliv množství nutrientů na růst rostlin [8]

## Dusík

Jak již bylo zmíněno, řadí se dusík do skupiny makronutrientů. Jedná se o klíčový prvek v mnoha procesech růstu rostlin. Obecně se jedná o životně důležitou složku chlorofylů, které umožňují rostlině fotosyntézu, konkrétně proces, kdy pohlcují světelné záření a produkují cukry, oxid uhličitý a vodu. Kromě toho je významnou složkou v aminokyselinách, což jsou základní složky proteinů [9]. Ve formě nitrátů napomáhá růstu listů, zároveň je zodpovědný za zelenou barvu rostlin [10].

Při nedostatku dusíku mohou být rostliny nažloutlé, kdy se žlutá barva nejprve objevuje na listech, konkrétně na špičce listu. Dále může být omezený jejich růst a kvetení, jelikož je dusík součástí proteinů a tím i enzymů. U některých plodin způsobuje předčasnou zralost, což má za následek snížení výtěžku a kvality [11].

## Fosfor

Stejně jako dusík se i fosfor řadí do skupiny makronutrientů. Fosfor je důležitý pro růst rostlin a jejich produktivitu. Je důležitým prvkem pro buněčné procesy, jako je syntéza biomolekul a tvorba makroergních sloučenin, tedy především adenosintrifosfátu (ATP). ATP slouží ve všech buňkách jako nejdůležitější zásobní forma chemické energie. Jeho hydrolýzou se uvolní energie, která se následně využívá v biosyntetických procesech nebo transportních dějích [12]. Rovněž napomáhá dělení buněk, aktivaci a inaktivaci enzymů. Kromě toho napomáhá klíčení, tvorbě kořenů nebo tvorbě květů a semen [13].

V případě nedostatku fosforu jsou rostliny slabé a růst je pomalý. Kromě toho nedostatek fosforu způsobuje opožděnou zralost rostlin a slabý vývoj semen a plodů. Fosfor je v rostlinách poměrně mobilní a může být transportován do nových listů. Nedostatek fosforu se tak projevuje jako tmavé až modro–zelené zabarvení na starších listech [13].

### **Draslík**

Draslík se spolu s předchozími prvky řadí do skupiny makronutrientů. Jedná se o důležitý prvek pro řadu biochemických a fyziologických procesů, které jsou odpovědné za růst a vývoj rostlin. Účastní se syntézy proteinů, metabolismu uhlovodíků a aktivace enzymů. Rovněž se účastní udržování rovnováhy mezi kationty a anionty, osmoregulace, přenosu energie a dalších procesů. Kromě tohoto zmírňuje některé stresové podmínky, jako jsou sucho, slanost, toxicita kovů nebo příliš vysoké a nízké teploty [14]. Draslík tedy přispívá k brzkému růstu a napomáhá udržet vodu [10].

Nedostatek draslíku se projevuje chlorózou na okrajích listů, která se nejprve objeví u starších listů. Jedná se o žloutnutí listů a červenání, které je patrné na obvodu, případně ve střední části listu [15]. Kromě toho rostliny rostou pomaleji, velikost a množství jejich semen a plodů je podstatně zredukována [11].

### **Vápník**

Vápník patří do skupiny sekundárních nutrientů. Hlavní funkcí vápníku je držet buňky stěny rostlin pohromadě, hraje tedy důležitou roli v membránách a buněčné stěně, jako protikation pro organické i anorganické anionty ve vakuolách a jako intracelulární posel v cytosolu [16]. Vápník tak působí jako intracelulární chemický signál. Koncentrace vápníku je udržována vápenatými kanály a je poměrně nízká. Signály, například akční potenciál, mohou vyvolat zvýšení koncentrace, pokud se otevřou vápenaté kanály v endoplazmatickém retikulu nebo na plazmatické membráně. Otevřením kanálů tak vzroste krátkodobě hladina vápenatých iontů a uvolněný vápník aktivuje proteinkinázy a proteinázy na něm závislé [17]. Dále aktivuje specifické rostlinné enzymy, které posílají signály do buněk a tím koordinují určité procesy růstu [18].

Vápník není v rostlinách mobilní, jako je fosfor nebo draslík, proto se projevy nedostatku nejprve objeví na mladých listech. Při nedostatku vápníku listy nejprve hnědnou a následně odumírají. Velmi často se také jeho nedostatek projevuje menším růstem rostlin [11].

### **Hořčík**

Spolu s vápníkem se řadí do sekundárních nutrientů. Jedná se o prvek důležitý pro růst rostlin a klíčový prvek molekuly chlorofylu a je tedy důležitým prvkem pro fotosyntézu. Hořčík dodává listům jejich odstín zelené barvy a aktivuje většinu rostlinných enzymů, které jsou potřebné pro růst a syntézu proteinů [19].

Hořčík je mobilní element a součást molekuly chlorofylu, nedostatek se projevuje chlorózou, která se objeví nejprve na starých listech. Listová tkáň mezi jednotlivými žilkami může být nažloutlá, bronzová nebo načervenalá, zatímco žilky listů zůstávají zelené [11].

## Síra

Posledním z prvků skupiny sekundárních nutrientů je síra, která je důležitou složkou proteinů a je důležitá pro funkci řady rostlinných enzymů. Samotná síra je součástí aminokyselin, které jsou nezbytné právě pro tvorbu proteinů. Kromě toho má i pozitivní vliv na kvalitu proteinů v zrnech. Většinu síry dostávají rostliny z půdy, v některých oblastech může být i značný příspěvek z atmosféry [20].

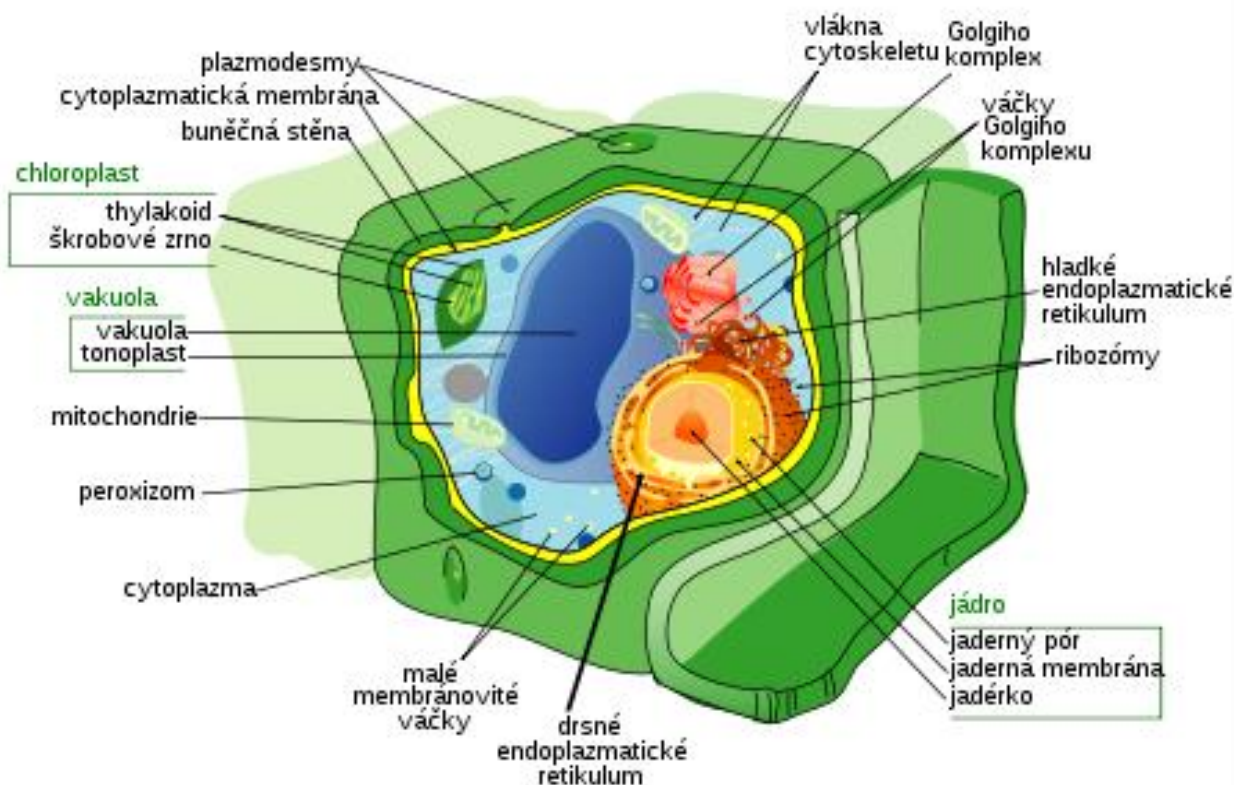
Při nedostatku trpí mladé listy chlorózou, kdy jejich žíly jsou světle zabarvené. U některých rostlin se mohou tyto symptomy projevovat i u starších listů, jelikož síra není v rostlinách plně pohyblivá. Nedostatkem síry je zpomalená rychlost růstu a tím i opožděná zralost rostlin. Rostliny jsou tuhé, dřevnaté a tenké. Některé symptomy mohou být podobné nedostatku dusíku a častěji se projevují v písčitých půdách [11].

## 2.2 ROSTLINNÁ BUŇKA

Rostlinná buňka je základní jednotkou všech živých organismů, a zároveň nejmenším systémem, který je sám o sobě schopný života a rozmnožování. Buňky v organismu navzájem komunikují, vzájemně se ovlivňují, jsou různě propojené a jejich funkce a vývoj jsou vzájemně koordinovány [21].

Rostlinná buňka je eukaryotická, to znamená, že má veškeré základní vlastnosti eukaryotických buněk a zároveň se vyznačuje některými znaky, které se u ostatních typů, například u živočišných, nevyskytují. Jedná se hlavně o přítomnost buněčné stěny z celulózy, chloroplastů, zásobních a krystalických buněčných inkluzí a vakuol. Dalšími typickými znaky pro rostlinné buňky jsou způsoby dělení, některé funkce cytoskeletu, mitochondrií apod. [21][22].

Běžná rostlinná buňka je na svém povrchu pokryta pevnou buněčnou stěnou, jejíž charakteristickou složkou je celulóza. Buněčná stěna rostlinných buněk není zcela celistvá. Na některých místech je přerušována kanálky, kterými procházejí cytoplazmatické spoje mezi jednotlivými protoplasty, což jsou jednotlivé rostlinné buňky bez buněčné stěny a označují se jako plasmodesmy [21][23].



Obrázek 3. Schéma rostlinné buňky [27]

### 2.2.1 Buněčné organely

K organelám se řadí jádro, plastidy, mitochondrie, ribozomy, vakuoly, Golgiho aparát, endoplazmatické retikulum a další [24]. Schéma rostlinné buňky zobrazuje Obrázek 3.

#### Jádro a jadérko

Jádro je nejdůležitější strukturou uvnitř cytoplazmy eukaryotních buněk. Na svém povrchu má dvojitou jadernou membránu, která odděluje jádro od cytoplazmy. V jaderné membráně se nacházejí jaderné póry, kterými se uskutečňuje transport molekul, dále obsahuje zrnka chromatinu tvořená DNA, která je spojená s proteiny, ze kterých se během buněčného dělení vytvářejí chromozomy. V jádru se rovněž vyskytuje jadérko, které slouží jako místo pro vytváření ribozomů tvořených RNA a proteiny [22][24].

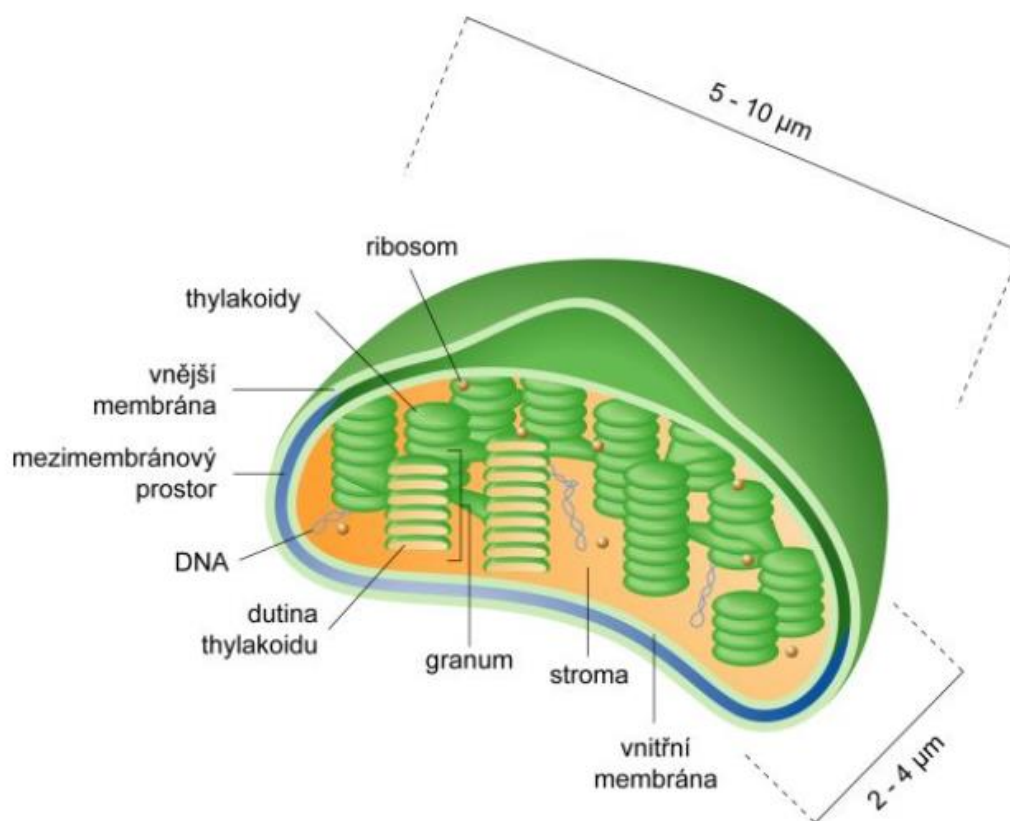
#### Plastidy

Plastidy jsou lipoproteinové organely, které v rostlinných buňkách obsahují vlastní DNA a ribozomy. Jsou ohraničeny dvojvrstvou membránou a uvnitř jsou rozděleny na systém membrán a homogenní substanci (stroma) [22][24].

Podle obsahu barviv se rozlišují na bezbarvé leukoplasty, které mohou obsahovat škrob, zásobní plastidy, bílkoviny nebo tuky. Leukoplasty, které obsahují škrob se nazývají amyloplasty. Leukoplasty, které obsahují proteiny se označují jako proteoplasty a leukoplasty



s tuky se označují jako oleoplasty. Dále existují barevné chromoplasty, které obsahují karotenoidy a jsou tak žluté, růžové až oranžové. U rostlin se nacházejí rovněž zelené chloroplasty. Ty mají složitou vnitřní strukturu, kterou znázorňuje Obrázek 4.



Obrázek 4. Struktura chloroplastu [25]

Chloroplasty jsou důležitou složkou rostlin, jelikož na jejich tylakoidních membránách probíhá nejdůležitější biochemický proces na zemi, kterým je fotosyntéza [22].

### Mitochondrie

Podobně jako chloroplasty jsou i mitochondrie ohraničeny dvojitou membránou. Vnitřní membrána tvoří rozsáhlé záhyby a ploché vchlípeniny, které se označují jako kristy. Případně může tvořit válcovité vchlípeniny, které se označují jako tubuly. Vnitřní prostor tvoří kapalná matrix. Mitochondrie lze považovat za centra buněčného dýchání, jelikož uvolňují energii vázanou v organických látkách. Rovněž je lze považovat za energetická centra v buňce, protože na vnitřní membráně dochází k syntéze molekul ATP [22][24].

### Ribozomy

Ribozomy jsou struktury, které vznikají v jadérku. Přecházejí dále do cytoplazmy, kde se navazují na membrány, například endoplazmatického retikula, nebo zůstávají volné. Ribozomy existují v cytoplasmě v podobě malých a velkých podjednotek, které se po zachycení mRNA spojují v ribozom. Takto spojené podjednotky se účastní proteosyntézy, kdy po translaci dochází k jejich opětovnému rozdělení [24][26].



## **Endoplazmatické retikulum (ER)**

Jedná se o skupinu plochých a protáhlých váčků, které se vzájemně propojují a jsou ohraničeny jednou membránou. ER se vyskytuje ve dvou formách. Jako drsné retikulum (granulární), které obsahuje navázané ribozomy a jeho funkce přispívá k proteosyntéze. Druhou formou je hladké retikulum (agranulární), kde se odehrává syntéza lipidů a steroidů. Zvláštní formou endoplazmatického retikula je sarkoplazmatické retikulum ve svalových buňkách, které se podílí na regulaci koncentrace a transportu vápenatých iontů [26].

## **Golgiho aparát (GA)**

Golgiho aparát je komplexní a uzavřený systém oploštělých membránových měchýřků vrstvicích se nad sebou do sloupců. Pomocí transportních váčků jsou z drsného ER přepravovány proteiny, které jsou dále chemicky modifikovány. Proteiny jsou následně transportovány na různá místa buňky, například na cytoplazmatickou membránu. GA primárně syntetizuje látky, které jsou transportovány a vyměšovány z buňky prostřednictvím sekrečních drah [22][26].

## **Vakuoly**

Jsou orgány ohraničené jednou membránou nazývanou tonoplast a vyplněné vodným roztokem označovaným jako buněčná šťáva. Základní složkou vakuolárního obsahu je tedy voda, ve které jsou obsaženy soli, cukry, rozpustné proteiny, metabolity a ve vodě rozpustná barviva. Mladé buňky mají více vakuol. Ty se s vývojem rostliny zvětšují až vytvoří jednu velkou centrální vakuolu, která vyplňuje většinu objemu buňky [22][24].

## **2.3 ANATOMIE ROSTLIN**

Do anatomie rostlin se zahrnují především vegetativní a generativní orgány, kromě nich i rostlinná buňka popsaná v předchozí kapitole. Mezi vegetativní orgány se řadí kořen, stonek a list. Mezi generativní se řadí květ, semeno a plod [28].

### **2.3.1 Kořen**

Jedná se většinou o podzemní část, která plní důležité funkce pro rostlinu. Příkladem je syntetická funkce, kdy se vytváří látky (aminokyseliny, regulátory růstu). Dalšími funkcemi jsou nasávací funkce, kdy rostlina přijímá živiny a vodu z půdy. Dále mechanická funkce, která ukotvuje rostlinu v zemi. A funkce zásobní, kdy rostlina ukládá některé potřebné látky [28].

Při klíčení semene se vytváří nejdříve kořínek, který roste směrem dolů do půdy a mění se v hlavní kořen, z kterého následně vznikají postranní kořeny a tvoří kořenový systém. Hlavní kořen časem zastavuje růst a funkci přebírají postranní kořeny [28].

### **2.3.2 Stonek**

Stonek je většinou nadzemní částí rostliny, která na sobě nese listy, pupeny a reprodukční orgány. Obsahuje dobře vyvinutá vodivá a mechanická pletiva a plní především funkci přenosu živin a dalších důležitých látek mezi kořeny a listy. Kromě této funkce slouží jako podpora pro

listy a květy. Růst je zajišťován především prodlužováním úseků mezi uzlinami, což jsou části rostliny, kde nasedají listy na stonek. Roste tedy ve více zónách, kdy jedna růstová zóna může být až 10 cm dlouhá [28].

### **2.3.3 List**

Listy jsou postranními orgány cévnatých rostlin, které mají omezený růst. Jsou významným orgánem pro rostliny, jelikož plní funkci fotosyntézy, transpirace a výměny plynů. Listy mohou sloužit i jako potraviny, například se jedná o listy hlávkového zelí, nebo se mohou používat jako koření (například libeček). Dále je možné použít listy některých rostlin pro přípravu nápojů či léčbu (například máta, meduňka). Kromě toho mohou být použity i v textilním průmyslu. K tomuto účelu se používá například konopí seté [28].

## **2.4 FOTOSYNTÉZA**

Fotosyntéza je biochemický děj, při němž dochází k absorpci energie slunečního záření a následné přeměně v energii chemických vazeb organických látek. Rozděluje se na primární (světelná) a sekundární (temnostní) fázi [29].

### **2.4.1 Světelná fáze**

Světelná fáze fotosyntézy probíhá na tylakoidních chloroplastech v základním souboru pigmentů a enzymů, které se označují jako fotosyntetická jednotka. Může být definována jako seskupení molekul chlorofylů, pigmentů, přenašečů elektronů a enzymů uskutečňujících najednou příjem molekuly oxidu uhličitého, výdej molekuly kyslíku, přenos jednoho elektronu a přeměnu jednoho světelného kvanta v chemickou energii. U vyšších rostlin a řas se fotosyntetická jednotka skládá ze dvou fotosystémů (PS II, PS I), komplexu cytochromů a ATP-syntázy. ATP-syntáza využívá protonový gradient, vytvořený přenosem elektronů, k syntéze ATP na vnějším povrchu tylakoidní membrány [30][31].

Fotosystém II obsahuje více pigmentů absorbujících světelné záření v oblasti kratších vlnových délek. Ty nesou více energie a převládá v něm chlorofyl b nad chlorofylem a. Jako pigment reakčního centra (terminální) se v tomto systému uplatňuje vždy chlorofyl a s absorpčním maximem při 680 nm, proto se chlorofyl označuje jako P680. Tento pigment je schopen spojení s donory a akceptory elektronů a také umožňuje uskutečnit přeměnu světelné energie na energii chemických vazeb. Ostatní pigmenty slouží k zachycení záření a energie svého excitovaného stavu a postupně ji předávají až na terminální pigment. Fotosystém II katalyzuje rozklad vody za uvolnění molekulárního kyslíku a zároveň je funkčně spojen s komplexem cytochromů, který přenáší elektrony z PS II na PS I pomocí mobilních přenašečů, například plastochinonů [30].

Fotosystém I je bohatší na pigmenty, které absorbují záření při vyšších vlnových délkách a převládá v něm chlorofyl a nad chlorofylem b. Terminálním pigmentem je ve fotosystému I chlorofyl a s absorpčním maximem při 700 nm, který se označuje jako P700. Stejně jako u předchozího systému jsou ostatní pigmenty pomocné a světlosběrné. Tok elektronů je

následně využít k přípravě NADPH. Při cyklické fosforylaci, kdy pracuje bez kooperace s fotosystémem II, vytváří protonový gradient použitelný k syntéze ATP [30][32].

### **Necyklická fosforylace**

Jedná se o systém transportu elektronů, ve kterém se uplatňují oba fotosystémy. Elektrony se zde nevrací zpět do molekuly terminálního pigmentu, ale využívají se k redukci  $\text{NADP}^+$  za vzniku  $\text{NADPH} + \text{H}^+$ , který je redukčním činidlem v následujících cyklech fixace a redukce oxidu uhličitého. K regeneraci chlorofylu reakčního centra se musí použít elektrony z oxidace vhodné sloučeniny, kterou je u vyšších rostlin, sinic a řas voda. Proto tato fosforylace začíná fotolýzou vody. Elektrony uvolněné fotolýzou vody jsou průběžně nahrazovány fotony excitovaných elektronů z terminálního pigmentu PS II. Ten je schopen opět přijmout energii světelného záření. Excitovaný elektron je přijat elektronovým akceptorem a z něho dále transportován přes redoxní systémy až na terminální pigment PS I. Část energie, která se uvolní při přesunech elektronů se využije k syntéze ATP [30][33].

### **Cyklická fosforylace**

Cyklická fosforylace je systém transportu elektronů, který začíná i končí v molekule chlorofylu reakčního centra PS I. Molekula reakčního centra je současně akceptorem i donorem elektronů. Po absorpci atomu se terminální pigment P700 dostane do excitovaného stavu a rychle uvolní elektron bohatý na energii. Ten je následně přijat primárním elektronovým akceptorem, kterým je FeS a je dále transportován na ferredoxin. Z něho je excitovaný elektron převeden přes komplex cytochromů zpět na molekulu chlorofylu reakčního centra P700. Takto se regeneruje do původního stavu. Zároveň stoupá redoxní potenciál elektronu a uvolňuje se energie, která se využije k produkci ATP [30].

## **2.4.2 Temnostní fáze**

Temnostní fáze probíhá ve stromatu chloroplastů. Zahrnuje řadu enzymových reakcí, které pro svůj průběh nepotřebují energii světelného záření. Probíhají ve tmě, pokud se nevyčerpají zásoby ATP a  $\text{NADPH} + \text{H}^+$  [30].

### **Calvinův cyklus**

První reakcí tohoto cyklu je navázání molekuly  $\text{CO}_2$  na pětiuhlíkatý substrát, kterým je ribulóza-1,5-bisfosfát za vzniku šestiuhlíkatého produktu, který je ovšem nestabilní a okamžitě se rozpadá na dvě tříuhlíkaté molekuly fosfoglycerátu. Reakce je katalyzována Rubiscem. Následně redukce fosfoglycerátu na glyceraldehyd-3-fosfát za spotřeby ATP a NADPH. Izomerizací potom vzniká dihydroxyacetonfosfát. Vytvořené fosfotriózy umožňují regeneraci akceptoru a biosyntézu ostatních monosacharidů se 4–7 uhlíky. Vznikají zásobní sacharidy, lipidy a aminokyseliny nezbytné pro růst rostlin. Regenerací primárního akceptoru  $\text{CO}_2$ , kterým je ribulóza-1,5-bisfosfát, se cyklus uzavírá [30].

## Hatch–Slackův cyklus

U  $C_4$  rostlin se v cytoplazmě mezofylových buněk fixuje  $CO_2$  do fosfoenolpyruvátu (PEP) za vzniku oxalacetátu. Proces je katalyzován fosfoenolpyruvátcarboxylázou, která je mnohem citlivější na oxid uhličitý, než je Rubisco, proto může probíhat i při nižších koncentracích oxidu uhličitého než u  $C_3$  rostlin. Oxalacetát je v chloroplastech mezofylových buněk redukován malátdehydrogenázou na malát, který se transportuje do buněk pochvy cévního svazku, kde je v chloroplastech štěpen na  $CO_2$  a pyruvát za vzniku  $NADPH+H^+$ . Pyruvát přechází zpět do mezofylových buněk a v jejich chloroplastech je fosforylován na PEP a může být znovu použit na fixaci  $CO_2$ . Tato přeměna je uskutečněna za přítomnosti ATP [30].

Mechanismus fotosyntézy se tak vyznačuje prostorovým oddělením primární fixace  $CO_2$  od sekundární v Calvinově cyklu. Kromě produkce  $CO_2$  je oddělena i produkce  $NADPH+H^+$  od jeho spotřeby. Konečným výsledkem prostorového oddělení fixace  $CO_2$  je zajištění jeho dostatečného množství jako základního substrátu pro enzym Rubisco a celý Calvinův cyklus [30].

## 2.5 KUKUŘICE SETÁ

Taxonomicky se kukuřice setá řadí do čeledi lipnicovitých, mezi jednopohlavné a jednodomé rostliny. Řadí se mezi tzv.  $C_4$  rostliny [34], jejichž cyklus je popsán v předchozí kapitole.  $C_4$  rostliny vykazují zvláštní listovou anatomii, kdy kolem cévních svazků vzniká nejdříve věnec z buněk pochvy cévního svazku s vysokým obsahem chlorofylu a potom vnější věnec buněk mezofylových s nižším obsahem chlorofylu [30]. Listy jsou tak větší, silnější a s mohutnějším mezofylem [32]. Rostliny kukuřice dorůstají výšky přes 2,5 m a jejich kořenové systémy pronikají do hloubky 1,5–3 m [34]. Primární kořenová soustava se pak tvoří přímo v zárodku a sekundární kořenová soustava je tvořena souborem stonkových adventivních kořenů. Zásobním orgánem kukuřice je stéblo, které je rozděleno kolénky (nody) na články (internodia). Listy jsou protistojné a listová čepel je široká s nápadným středním žebrem [35].

### 2.5.1 Chemické složení

Ze všech obilovin má kukuřičné zrno nejvyšší energetickou hodnotu. Obsahuje vysoký podíl škrobu a zhruba 5 % hm. tuku, který se skládá především z nenasycených mastných kyselin (linolová, olejová). Díky vysokému obsahu nenasycených mastných kyselin (MK) je tuk snadno oxidovatelný a šrotovaná kukuřice by tak neměla být déle skladována [36].

Kukuřice má nízký obsah dusíkatých látek, který se pohybuje kolem 9 % hm., kdy nejvíce zastoupené jsou zásobní bílkoviny a gluteniny. Zároveň má nízký obsah hrubé vlákniny, která zahrnuje především celulózu a částečně hemicelulózu a lignin, a velmi nízký obsah vápníku. Naopak odrůdy se žlutými zrny mají vysoký obsah  $\beta$ -karotenu a dalších žlutých pigmentů (xantofyl, zeaxantin), které způsobují i žluté zabarvení tuku a žloutků [36].

### 2.5.2 Příjem živin

Kukuřice přijímá velké množství živin, především pak dusíku, draslíku, fosforu, vápníku a hořčíku a výborně využije veškeré formy organického hnojení [36].

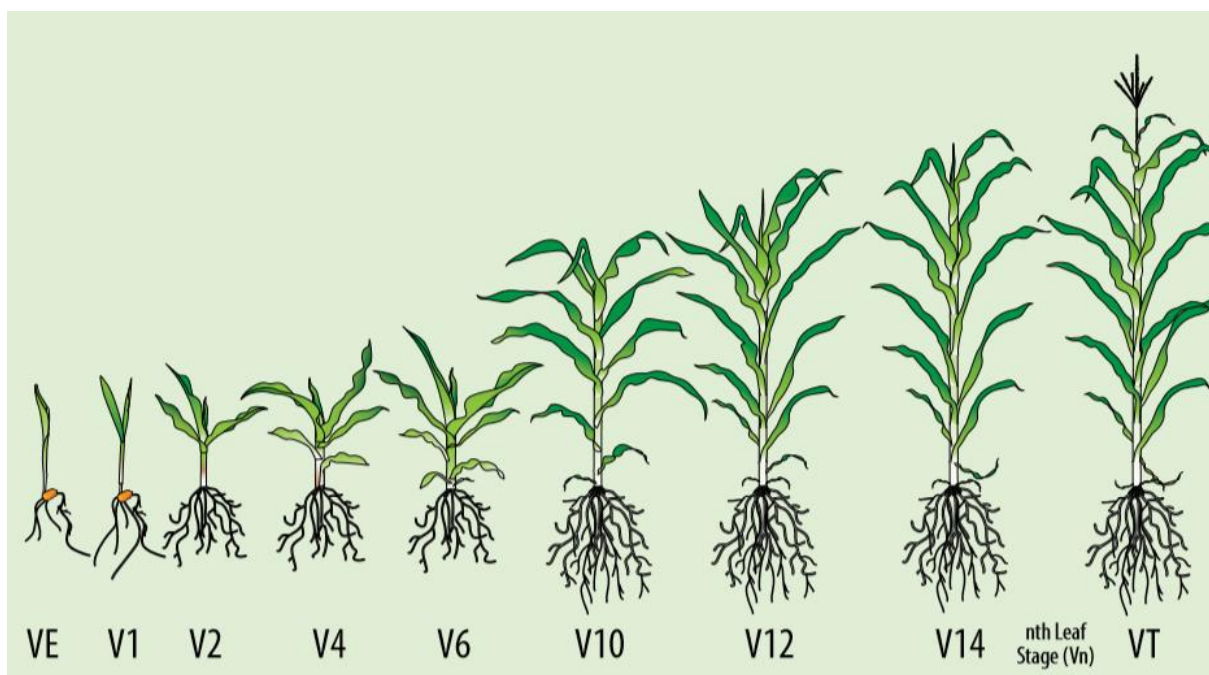
Příjmem živin se rozumí proces prostupu živin z vnějšího prostředí do rostliny. Jedná se o jeden ze základních jevů v životě rostliny, kdy se z abiotického materiálu stává složka buňky schopná dalších asimilačních procesů, kdy výsledkem je nová hmota. Ze vzduchu rostliny přijímají uhlík v podobě oxidu uhličitého, kyslík a částečně i vodík v molekulární formě. Většina rostlin je také schopná přijímat prvky jako je dusík, draslík, fosfor a další, ve formě rozpustných solí pomocí listů, stonků nebo generativních orgánů (klasy, plody). Tato schopnost se označuje jako foliární výživa. Kromě tohoto způsobu rostliny přijímají všechny živiny a vodu pomocí kořenů [37].

Příjem živin pomocí kořenů zajišťují absorpční povrchy kořenů, a aby mohly být metabolicky využity, musí překročit rozhraní mezi vnějším a vnitřním prostředím. Rozhraní nemusí být totožné s morfologickým povrchem rostliny. Základní bariérou je cytoplazmatická membrána, přes kterou vede primární vstup do buněčného prostředí. Příjem látek je spojen s transportem, který překonává prostorové vzdálenosti od místa zdroje látky k místu spotřeby [38].

Příjem iontů je ovlivněn koncentrací a aktivitou iontů v půdním roztoku. Čím vyšší je obsah iontů v roztoku, tím menší vzdálenost musí rostoucí kořen překonat, aby se vytvořily podmínky pro jeho povrchovou sorpci, což je nejčastější způsob příjmu většiny iontů z půdního roztoku [39].

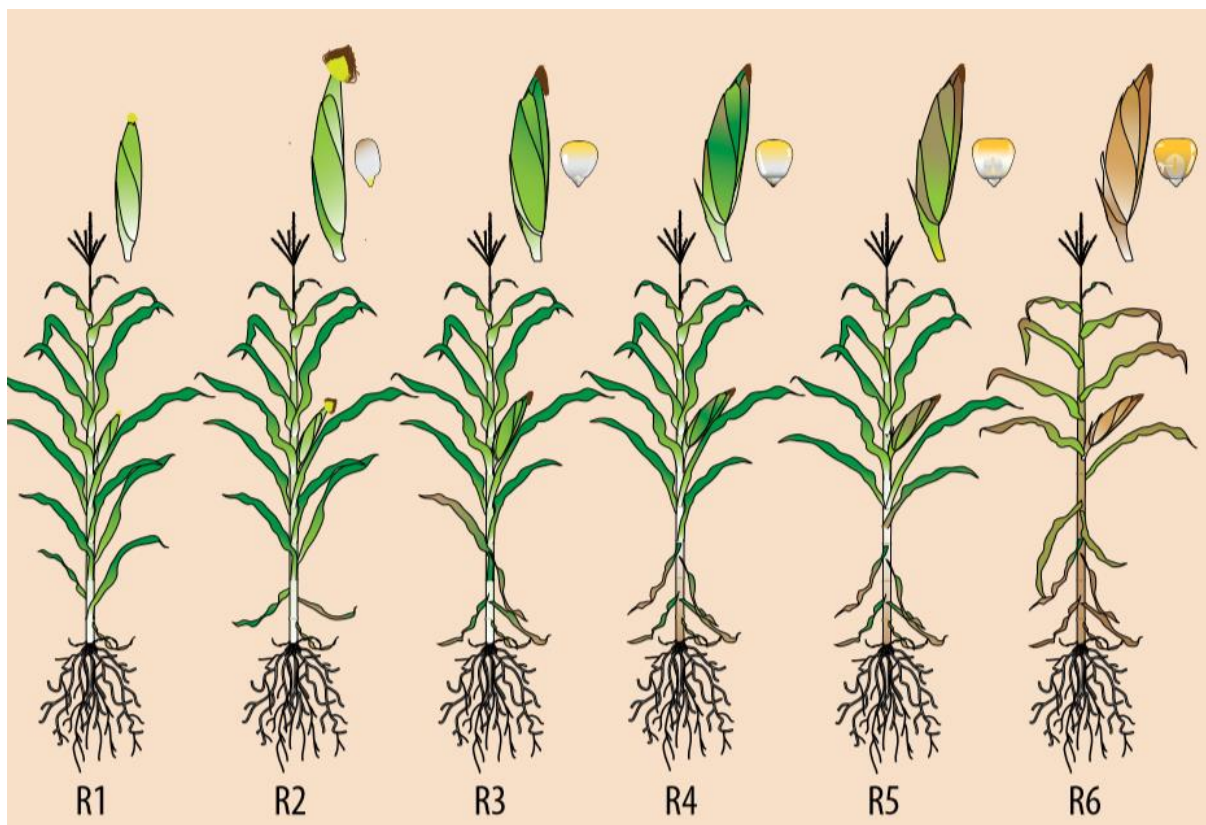
### 2.5.3 Stádia růstu kukuřice

Růst kukuřice se rozděluje do vegetativních a reprodukčních stádií, které jsou dále rozděleny do dalších 6 skupin. Vegetativní stádia jsou rozdělena do VE, V(n) a VT fáze, kdy n označuje počet vzniklých listů, například tedy V1, V2 nebo V3. Reprodukční fáze jsou rozděleny na R1, R2, R3, R4, R5 a R6 [40]. Vegetativní fáze zobrazuje Obrázek 5 a reprodukční fáze zobrazuje Obrázek 6.



Obrázek 5. Vegetativní stádia kukuřice [41]

První vegetativní fáze (VE) začíná, jakmile se nad povrchem půdy objeví první lístek. Zrno absorbuje vodu a kyslík. U špičky zrna se zakládá kořínek. V následujících fázích vznikají listy s límcem, což je struktura u základu listu. Zároveň vznikají nodální kořínky. V poslední vegetativní fázi (VT) je rostlina v téměř své maximální výšce [41].



Obrázek 6. Reprodukční fáze kukuřice [41]

V první reprodukční fázi (R1) začíná rozkvět, jakmile je nad slupkou patrné hedvábí (tzv. vlasy). První hedvábí, které se objeví nad slupkou, je napojené na zrna a rostlina dorůstá do své maximální výšky. V následující fázi hedvábí tmavne a začíná usychat. Zrna jsou bílá a obsahují čistou tekutinu. Ve fázi R3 je hedvábí již suché. Zrna jsou v této fázi žlutá a tekutina, vzniklá asimilací škrobu může být mechanicky vytlačena ze zrn. Zrna ve fázi R4 se vyznačují obsahem škrobové látky, která má konzistenci těsta. Ve fázi R5 jsou zrna téměř zralá. Ve fázi R6 vzniká na spodní části černá vrstva a zrna jsou již zralá [41].

#### 2.5.4 Využití v potravinářství

V potravinářství mají kromě vlastního použití jako potraviny, případně krmiva pro zvířata největší využití hydrolyzáty škrobu, modifikované a substituované škroby. Konkrétně tedy nacházejí uplatnění v mlékárenském průmyslu, například jako mrazuvzdorné stabilizátory do mražených smetanových krémů, kde se používají oxidované škroby. Dále se mohou používat maltodextriny a škrobové sirupy jako antikrystalizační prostředky a stabilizátory konzistence u zmrzlin. V pekárenském průmyslu mohou být využity například při zahušťování náplní koláčů, v tomto případě se používá termicky modifikovaný škrob. V neposlední řadě nachází škrobové sirupy uplatnění při výrobě cukrovinek typu želé, kandytů nebo fondánů [42].

## 2.6 PŮDA

Půdu je možné definovat jako samostatný přírodní útvar vzniklý z povrchových zvětralin zemské kůry a z organických zbytků za působení půdotvorných faktorů. Jedná se o dynamický a stále se vyvíjející živý systém, který je stanovištěm planě rostoucí vegetace a slouží k pěstování rostlin [43]. Půda se tedy chová jako otevřený systém, kdy její vnitřní organizace se odráží ve vlastnostech. Odlišná kombinace organické a anorganické složky se projevuje například na barvě, textuře nebo struktuře půdy. Rovněž se na těchto vlastnostech podílejí přítomné volné prostory vyplněné vzduchem nebo vodou [44].

Půda obsahuje několik složek, kdy hlavními půdními složkami jsou minerální částice, organické složky, živé organismy, vzduch a voda. Minerální částice tvoří značný podíl, kdy jejich velikost, tvar a chemické složení často kolísá. Mohou se například nacházet jako jednotlivé minerály nebo celé agregáty více minerálů [44].

Hlavní organickou složkou půdy je humus, který je koncentrován především v povrchové půdě. Humus představuje polorozložené zbytky rostlin a živočichů, které se nakonec rozkládají do organických sloučenin. Živé organismy v půdě rozkládají a transportují složky z jedné části půdy do druhé. Rovněž provzdušňují půdu, zvyšují její pórovitost a do půdy dodávají organické kyseliny a oxid uhličitý. energii pro svůj růst přejímají z oxidačního rozkladu komplexních molekul. Kromě výše zmiňovaných je důležitou složkou i půdní vzduch a půdní voda. [44].

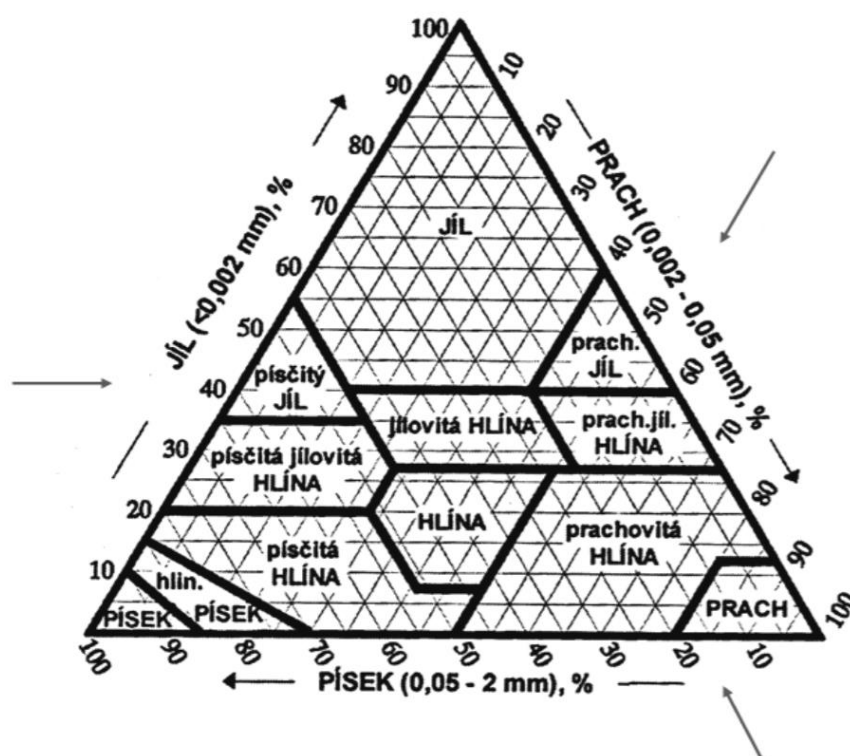
Funkcí půdy je několik a nelze jednoznačně označit jednu za nejdůležitější. Jedná se o základní článek potravního řetězce a současně substrát pro růst rostlin. Dále je životně důležitou zásobárnou vody pro suchozemské rostliny a mikroorganismy, které umožňují průběh důležitých procesů v ekosystémech jako je cyklus vody, uhlíku, dusíku nebo fosforu. Působí rovněž jako filtrační čistící prostředí pro vodu a hraje důležitou roli ve stabilitě ekosystémů a ovlivňování bilancí látek a energií. V neposlední řadě pochází z půdy mnoho stavebních materiálů a surovin, slouží jako prostor pro umístování staveb a jedná se o prostředí v němž probíhá archeologický a paleontologický výzkum [45].

### 2.6.1 Rozdělení půdy

Druhy půd se určují na základě půdní zrnitosti, která je dána obsahem jílovitých částic a dalších zrnitostních částí. Druhy půd mají vliv především na její sorpční schopnosti, ale i na další vlastnosti [46]. Zrnitostní složení ovlivňuje i konzistenční a technologické vlastnosti půd, soudržnost nebo přilnavost. K vlastní klasifikaci se mohou použít buď tabulkové metody nebo klasifikační diagramy. U nás se nejčastěji používá tabulková metoda, která rozděluje půdu na 7 druhů podle kvalitativního zastoupení jílnatých částic, tedy částic menších než 0,01 mm [43]. Tabulka 1 zobrazuje rozdělení na 7 druhů půd. Obrázek 7 znázorňuje příklad diagramu, konkrétně trojúhelníkového diagramu zrnitosti půdy.

Tabulka 1. Klasifikační tabulka půd [43]

Obsah částic menších než 0,01 mm (% hm.)	Druh půdy	Klasifikace půdy
0–10	Písčítá	Lehká
10–20	Hlinitopísčítá	
20–30	Písčitohlinitá	Střední
30–45	Hlinitá	
45–60	Jílovitohlinitá	Těžká
60–75	Jílovitá	
Nad 75	Jíl	



Obrázek 7. Trojúhelníkový diagram zrnitosti půd [47]

## 2.6.2 Vliv pH půdy na dostupnost živin

Půda je jednou ze základních složek životního prostředí rostlin. Složení půdy ovlivňuje obsah živin, půdní reakce, obsah organických látek a živin přístupných pro rostlinu, vodní a vzdušný režim a mikrobiální procesy v půdě. Dostupnost živin ovlivňuje pH půdy, například v neutrálních a alkalických půdách je větší dostupnost dusíku, fosforu, draslíku, síry, vápníku a hořčíku. V kyselých půdách je nejdostupnější železo, mangan, bor, zinek a hliník. Všechny rostliny mají specifické nároky na pH půdy a rozdělují se tak na acidofyty, které upřednostňují kyselé prostředí s hodnotami pH mezi 3–6,7. Dále na neutrofyty, které rostou v půdách s neutrálním pH a na bazifyty, které požadují zásadité pH do hodnoty 9 [48].



### 3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY

V dnešní době se superabsorpční polymery používají především k prodloužení života rostlin při nedostatku vody. Nové poznatky ovšem ukazují, že mohou mít i vliv na růst při dostatečném zavlažování. Pro jejich experimenty bylo použito několik druhů vzorků, například eukalyptus nebo borovice, které byly zasazeny do různých druhů půd s různým přídavkem polymeru. Po 8 týdnech se významně zvýšila suchá hmotnost kořenů a výhonků pro všechny typy vzorků. Výsledky ukazují, že přítomnost polymerů nejen zvyšuje zadržování vody, ale zároveň snižuje vypařování a prodlužuje tak život rostlin [49].

V publikaci [50] bylo zkoumáno zadržování vody půdou a maximální množství zadržené vody. Při měření zadržování vody byly použity dva vzorky. Jeden s půdou a druhý s půdou a polymerem. Vzorky byly po stejnou dobu a při stejných teplotách zalévány. Na konci experimentu byla odstraněna přebytečná voda. Výsledky ukázaly, že půda se superabsorpčním polymerem zadržovala vodu déle než vzorek bez něho. Pro měření maximálního množství zadržené vody byla použita trubka se dnem z nylonové membrány. Půda a půda s polymerem byla umístěna do trubky a následně přikapávána voda. Výsledky opět prokázaly pozitivní vliv přítomnosti polymeru na maximální množství zadržené vody, ale zároveň prokázaly negativní vliv na průtok vody půdou.

V publikaci [51] byly provedeny louhovací testy vzorku s půdou s polymerem a vzorku s půdou a močovinou, kdy po dobu 24 hodin byl odebírán výluh a měřena koncentrace dusíku ve výluhu. Výsledky prokázaly nižší množství uvolněného dusíku do výluhu u vzorku s polymerem, než tomu bylo u močoviny.

Publikace [52] se zabývá fytotoxickými testy. Fytotoxické testy byly provedeny na ředkvičkách a okurkách, kdy k jejich semínkům byla přidána destilovaná voda a superabsorpční polymer. Vzorky semínek byly ponechány při teplotě 25 °C a po dobu tří dnů v pěstebním boxu bez přístupu světla. Po skončení experimentu nevykazovala žádná semínka známky fytotoxicity. Absence fytotoxicity tak umožňuje bezpečné použití superabsorpčních polymerů na rostliny.

V publikaci [53] byla popsána schopnost zadržovat vodu připravených superabsorpčních polymerů, která byla testována na růstu fazolí. Pro testování byly použity vzorky, ke kterým byl do půdy přidán polymer a vzorky pouze s půdou. U obou vzorků bylo použito stejné množství půdy i vody (400 ml). Prvních 15 dní byly pozorovány jen minimální rozdíly, ale po této době začaly vzorky bez přídavku polymeru vadnout, kdežto vzorky s polymerem zůstaly nadále svěží. Následně bylo přidáno do všech stejné množství vody, první dávka tedy byla na začátku a druhá po 15 dnech. Vzorky s přídavkem polymeru zůstaly nadále svěží i po 25 dnech, ale vzorky bez něho nadále vadly, přestože k nim byla přidána voda. Po 40 dnech začaly všechny vzorky vadnout. Zadržená voda v tomto případě představovala 50 % hm.

V publikaci [54] byla opět testována schopnost zadržovat vodu, tentokrát na rajčatech. Do půdy bylo přidáno různé množství suchého polymeru, konkrétně 0,2 % hm, 0,5 % hm a 1 % hm půdy, a zároveň byl zkoumán vzorek bez přídavku polymeru. Ke vzorkům byla přidána voda a konstantně byla měřena vlhkost půdy. Výsledky ukázaly, že i přídavek malého

množství polymeru téměř třikrát zvýšil čas, po který zůstávala půda vlhká. Rostliny začaly vadnout, jakmile se vlhkost dostala pod 20 % hm. Při snížení vlhkosti půdy začalo docházet k postupnému uvolňování vody z polymeru, což napomáhá rostlinám přežít déle bez přídavku vody zvenčí.

V neposlední řadě byl vliv superabsorpčních polymerů zkoumán na růstu kukuřice, kdy byla použita kyselina polyakrylová a kyselina polyakrylová s přídavkem humátu sodného. Oba vzorky zastupovaly 1 % hm. z celkového množství půdy. Kromě těchto dvou vzorků byl použit i kontrolní vzorek bez polymeru. Prvních 10 dní byly pozorovány jen minimální rozdíly v růstu. Po 20 dnech rostliny kontrolního vzorku, tedy bez přídavku polymeru do půdy, začaly vadnout, kdežto rostliny s přídavkem obou druhů polymerů zůstaly stále svěží. Po 30 dnech začaly vadnout rostliny, které měli v půdě přidání kyselinu polyakrylovou, rostliny s přídavkem kyseliny polyakrylové s humátem sodným zůstaly nadále svěží. Ze studie tedy vyplývá, že přídavek kyseliny polyakrylové s humátem sodným může snížit ztráty vody během zavlažování a zlepšit délku života a kvalitu rostlin [55].

## **4 PRAKTICKÁ ČÁST**

### **4.1 POUŽITÉ CHEMIKÁLIE**

- Kyselina akrylová (AA), Sigma–Aldrich
- Methylen–bis–akrylamid (MBA), Sigma–Aldrich
- Peroxydisulfát draselný (KPS), FlukaAnalytical
- Lignohumát (LH), Amagro s.r.o.
- Hydroxid draselný (KOH), ONEX CHEMIE s.r.o.
- NPK

### **4.2 POUŽITÉ PŘÍSTROJE**

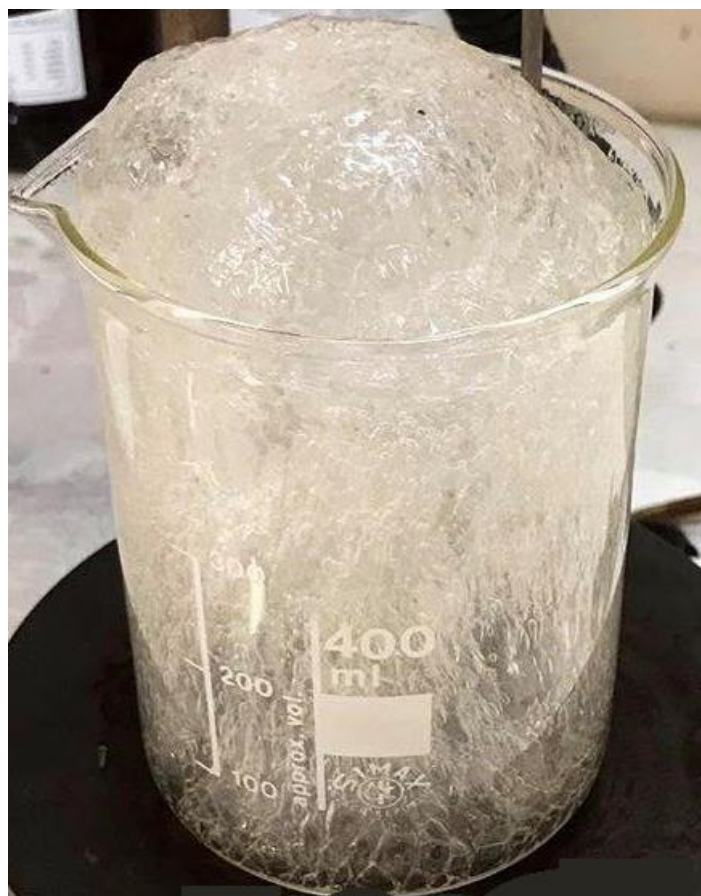
- Analytické váhy, SCALTECH
- Předvážky
- Sušárna, Venticell
- UV/VIS spektrofotometr, HITACHI U–3900H
- Časovač
- Lampa
- Elementární analyzátor Euro Vector Instruments & Software
- Termogravimetrický analyzátor TGA Q50
- Skener tiskárny HP PSC1310 series

### 4.3 PŘÍPRAVA SUPERABSORBENTŮ

Pro vlastní přípravu byly nejprve naváženy jednotlivé látky a vytvořeny roztoky AA (s 25 ml destilované vody) a KOH (s 10 ml destilované vody). Roztok kyseliny akrylové byl umístěn na míchačku a za stálého míchání byl postupně přikapáván roztok hydroxidu draselného. Následně byla přidána navážka NPK, MBA, lignohumátu a KPS. Vzniklá směs, která byla po celou dobu míchána, byla zahřáta na teplotu polymerace, která se u všech typů pohybovala v rozmezí kolem 90–100 °C. Vzniklý polymer byl rozdělen na kousky a následně 4 dny sušen na látce při teplotě 80 °C. Dokonale vysušený vzorek byl rozdrcen na drobné kousky. Přesné navážky zobrazuje Tabulka 2. Obrázek 8 zobrazuje superabsorbent CH, u kterého již došlo k polymeraci.

Tabulka 2. Receptury superabsorbentů

Superabsorbent	A	B	C	D	H	CH
AA (g)	14,25	14,25	14,25	14,25	14,25	14,25
KOH (g)	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75
MBA (g)	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
KPS (g)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
NPK (g)	0,6602	6,6020	0,6602	6,6020	-	-
LH (g)	-	-	1	1	1	-



Obrázek 8. Připravený superabsorbent CH

## 4.4 PĚSTEBNÍ EXPERIMENT

Pro pěstební experiment bylo nutné nejprve naklíčit zrna kukuřice. Zrna byla 24 hodin namočená ve vodě, kdy se po 12 hodinách voda vyměnila. Namočená zrna byla následně přenesena na vlhkou vatu umístěnou v misce a přikryta potravinářskou folií, do které bylo propíchnuto několik dírek. Po zhruba třech dnech se začaly objevovat první klíčky a po pěti dnech byla kukuřice plně naklíčena. Naklíčená kukuřice byla před zasazením zvážena a klíčky změřeny.

Pro samotné experimenty bylo do každého kelímku naváženo 250 g půdy, ke které byl přidán 1 g příslušného superabsorbentu. Kromě půdy se superabsorbenty byly použity i kontrolní vzorky bez nich. Pro každý superabsorbent byly připraveny 3 kelímky na příslušný čas růstu, tedy celkem 21 kelímků pro čas pěstování 46 dní, 21 kelímků pro čas pěstování 60 dní a 21 kelímků pro čas pěstování 74 dní. Do každého kelímku bylo zasazeno po 3 kusech naklíčené kukuřice.

Zasazená kukuřice následně rostla po dobu 46, 60 a 74 dní pod pěstební lampou. Pomocí časovače byly simulovány den a noc, kdy lampa byla 12 hodin zapnuta a 12 hodin vypnuta. První týden byla třikrát týdně kukuřice zalita 50 ml vody. Následující týden dvakrát a zbylé týdny pěstování jen jednou týdně 50 ml vody. Obrázek 9 zobrazuje rostliny kukuřice po týdnu růstu.

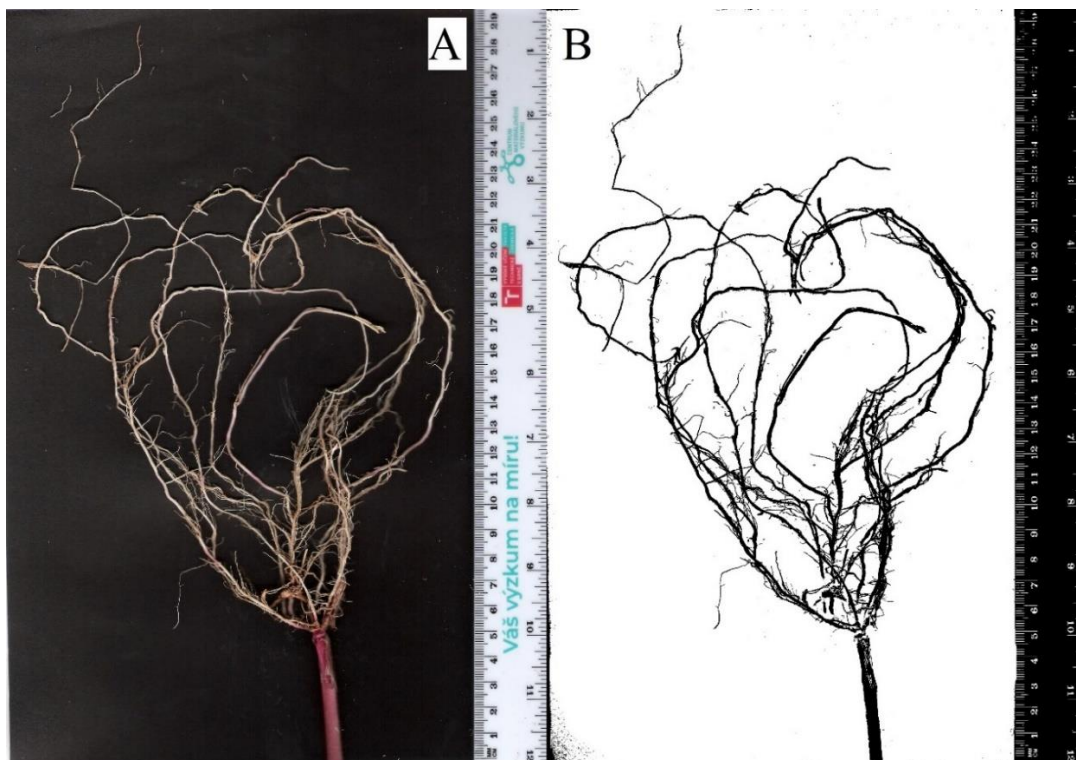


Obrázek 9. Rostliny kukuřice po týdenním růstu

### 4.4.1 Vyhodnocení pěstebního experimentu

Pro vyhodnocení experimentu bylo nejprve nutné kukuřice vyndat z půdy a následně změřit kořeny, zvážit rostliny a oskenovat kořeny. Skeny kořenů byly následně upraveny v programu ImageJ. Původní skeny kořenů byly tedy nejprve převedeny do stupňů šedi (8 bitů) a pomocí

funkce Threshold byla vybrána pouze analyzovaná oblast kořenů a pomocí funkce Invert přehozeny barvy. Takto vzniklý obrázek byl nakonec vyčištěn, aby nedocházelo k chybám měření. Ukázku původního skenu (A) a zpracovaného obrazu v programu ImageJ (B) znázorňuje Obrázek 10. Pro vlastní vyhodnocení pěstební experimentu byl použit program HARFA (Harmonic and Fractal Analyzer), kdy u všech analyzovaných vzorků byl použit výřez plochy kořenů od začátku kořene o velikosti 1024 na 1024 pixelů. U všech vzorků byla tedy analyzována stejná plocha pomocí funkce Wavelet Analysis 2D.



Obrázek 10. Porovnání původního skenu (A) a upraveného (B)

## 4.5 ROZBORY PŮDY A ROSTLIN

Rozbory půdy byly provedeny po ukončení pěstební experimentu a porovnány s původní půdou. Dále bylo změřeno UV spektrum, pH a vodivost. Pro tato měření byly nejprve připraveny výluhy půdy. Jako rozpouštědlo byl použit hydroxid sodný o koncentraci 0,1 M. Do 50 ml roztoku hydroxidu bylo přidáno 7 mg vzorků půdy a týden byly louhovány. Po týdnu bylo změřeno UV/VIS, pH a vodivost vzorků. Z naměřených hodnot pH byl zkoumán vliv přítomnosti superabsorbentů na uvolňování oxoniových iontů do půdy. V případě vodivosti se jedná o ionty draselné, dusičnanové a fosforečnanové a z hodnot UV byl vypočten humifikační index E46, který vypovídá o molekulové hmotnosti.

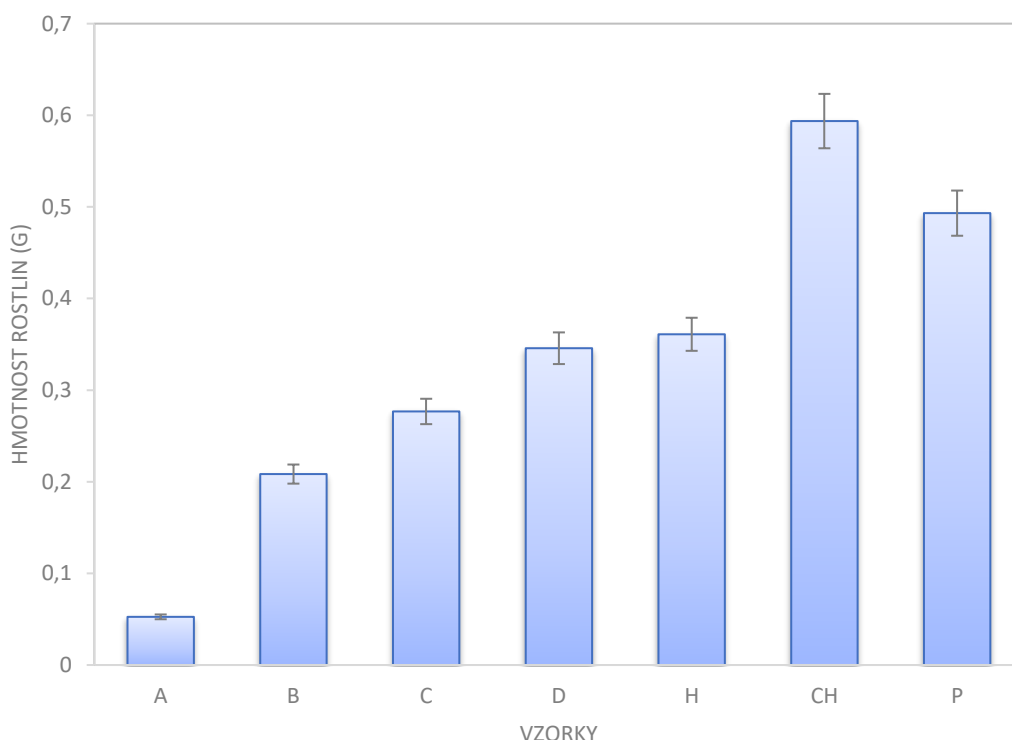
Kromě těchto experimentů byla provedena prvková analýza půdy, kdy byly změřeny makronutrienty (oxidovatelný uhlík, organický dusík, fosfor, draslík), mikronutrienty (hořčík, vápník) a pH. Rovněž byla provedena prvková analýza rostlin, kterou provedla firma Agrolab spol. s.r.o. Troubsko.



## 5 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 5.1 PĚSTEBNÍ EXPERIMENT

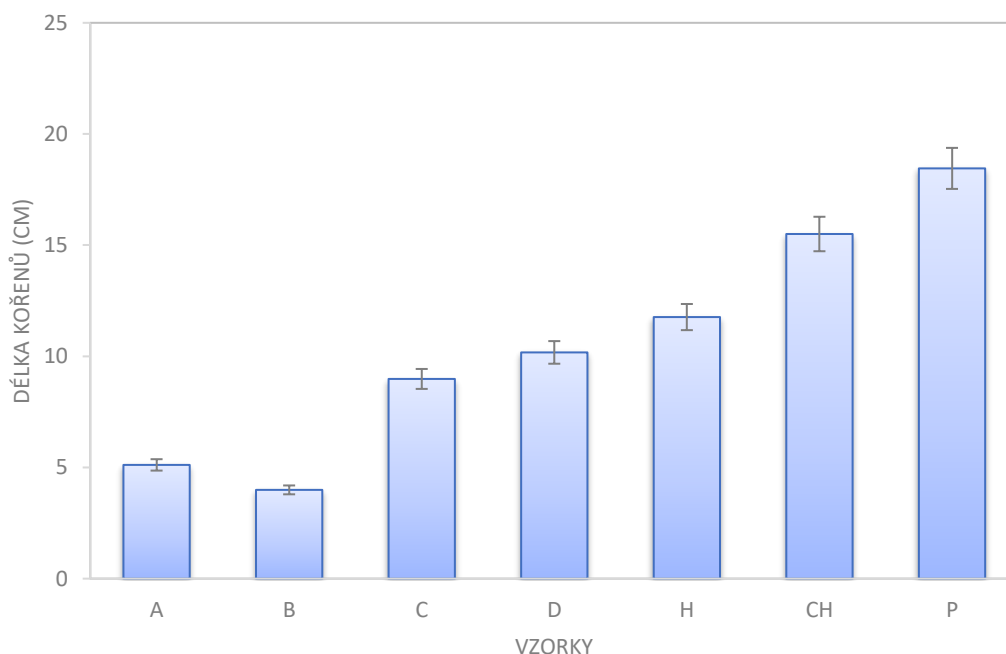
Obrázek 11 znázorňuje průměrné hmotnosti vypěstovaných rostlin po prvním časovém úseku. Z výsledků je patrné, že v přítomnosti superabsorbentů dosahovaly rostliny nižší hmotnosti, než tomu bylo pouze v půdě. Při porovnání dvojic superabsorbentů, které se liší pouze obsahem NPK (dvojice A, B a dvojice C, D) a obsahem lignohumátu (dvojice H, CH), vidíme u vzorků A, B a C, D, že v přítomnosti vyššího množství NPK dosahovaly rostliny vyšší hmotnosti, než tomu bylo u vzorků s menším množstvím. Konkrétní složení vzorků znázorňuje Tabulka 2. Vzorky B a D tak mají vyšší hmotnosti než vzorky A a C. Při porovnání vzorků B, D a A, C vidíme, že přítomnost lignohumátu výrazně zvyšuje hmotnosti rostlin, tedy u vzorku D byly vyšší hmotnosti než u vzorku B a stejně tak v porovnání vzorků A a C. U vzorků H a CH je vidět, že vyšších hmotností dosahovaly rostliny v přítomnosti superabsorbentu CH, který nemá žádné přidané nutrienty ani lignohumát. Hmotnosti rostlin v samotné půdě jsou vyšší než u všech vzorků kromě vzorku CH. Můžeme tedy říct, že přítomnost superabsorbentů v půdě v takto krátkém časovém úseku nemá prokazatelné výhody na hmotnosti rostlin, ale je zde vidět, že přítomnost lignohumátu, ať už v kombinaci s NPK nebo bez něho, zvyšuje hmotnost pěstovaných rostlin.



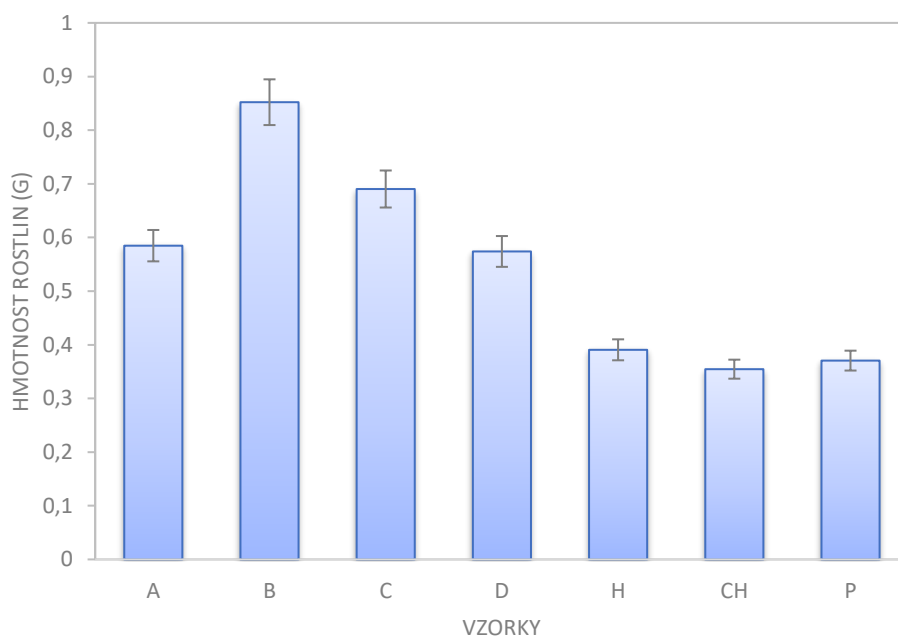
Obrázek 11. Průměrné hmotnosti vypěstovaných rostlin pro časový úsek 46 dní

Obrázek 12 zobrazuje průměrné délky kořenů rostlin. Při porovnání dvojic vzorků zmíněných v předchozím odstavci můžeme vidět, že v případě vzorku A dosahovaly rostliny delší délky kořenů než u vzorku B. U dvojice C a D naopak měly rostliny vyšší délky kořenů u vzorku D. Z porovnávaných vzorků H a CH byly opět vyšší hodnoty u vzorku CH. V tomto případě tak

vyšší množství NPK má negativní vliv na délku kořenů, ale přítomnost lignohumátu má na jejich délku vliv pozitivní, a to v i v kombinaci s NPK, jelikož hodnoty u vzorků C, D jsou vyšší než u vzorků A, B. Stejně jako u hmotností rostlin jsou nejdelší délky u vzorku samotné půdy. Opět tak můžeme říct, že v takto krátkém časovém úseku nemá použití superabsorbentů prokazatelné výhody.



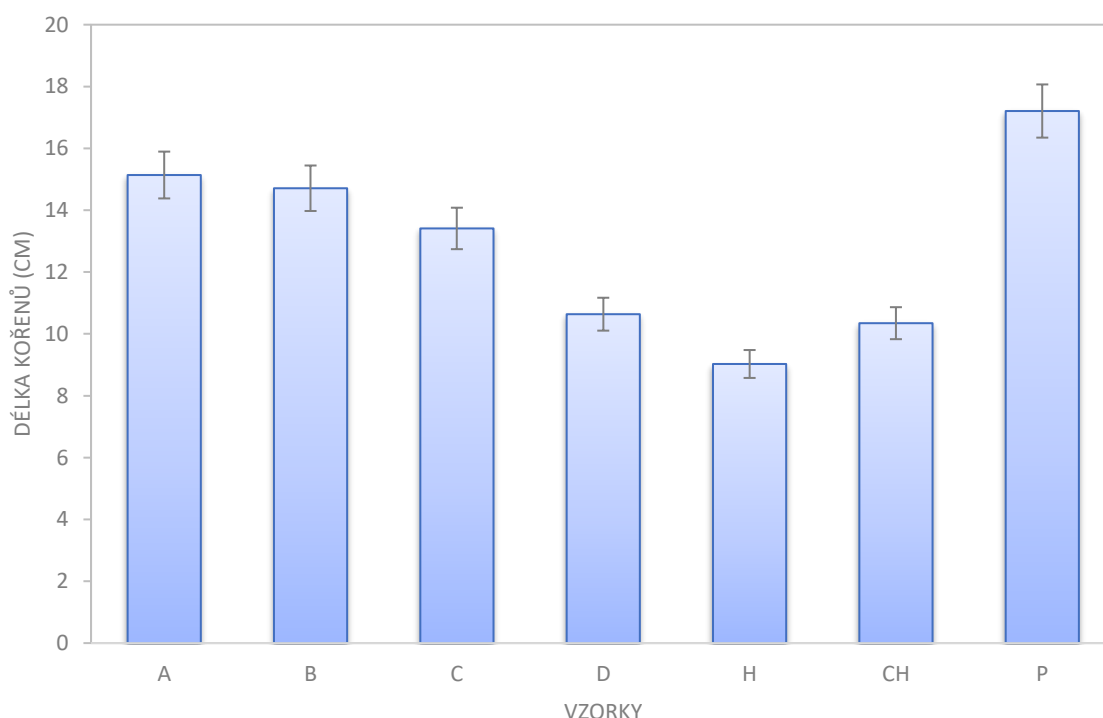
Obrázek 12. Průměrné délky kořenů vypěstovaných rostlin pro časový úsek 46 dní



Obrázek 13. Průměrná hmotnost vypěstovaných rostlin pro časový úsek 60 dní

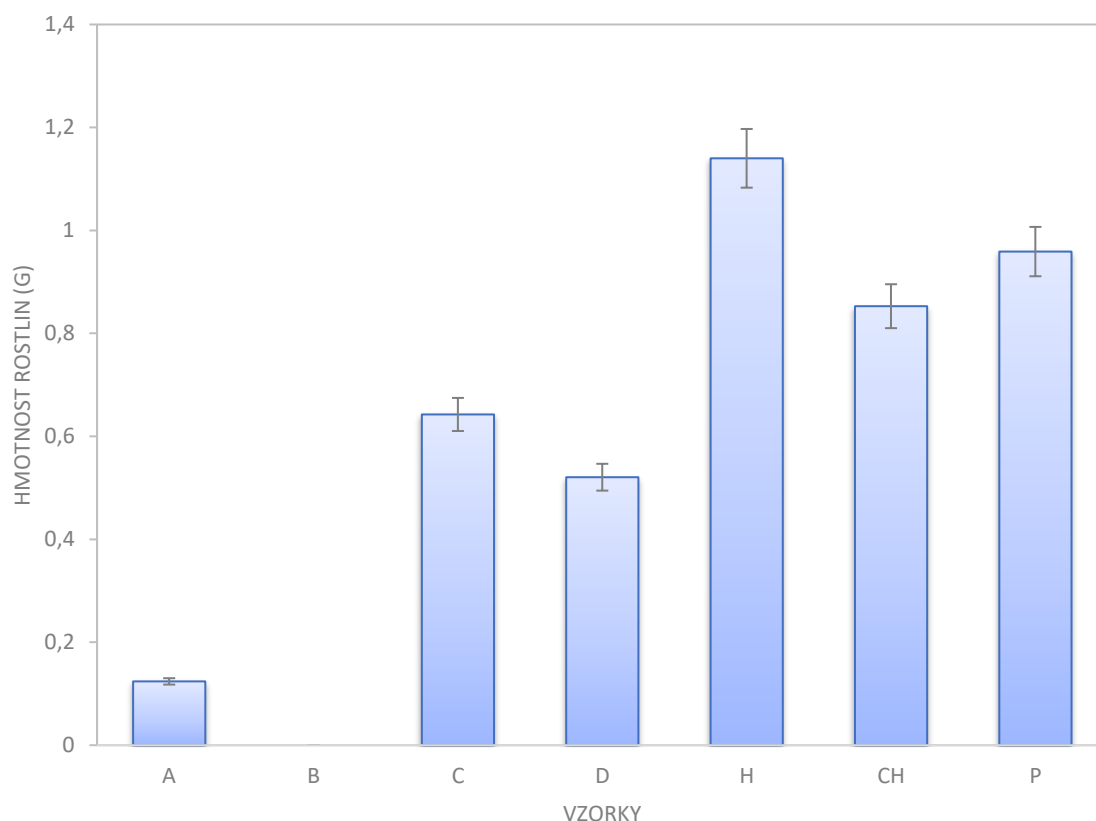


Obrázek 13 zobrazuje průměrnou hmotnost vypěstovaných rostlin po časovém úseku 60 dní. V tomto případě je již vidět patrný pozitivní vliv přítomnosti superabsorbentů v půdě. V případě vzorků A a B je vidět, že vyšší hmotnosti dosahovaly rostliny v přítomnosti vzorku A, tedy vzorku s nižším množstvím NPK. U vzorků C a D jsou vyšší hodnoty opět u vzorku s nižším množstvím NPK (vzorek C). U vzorků H a CH jsou jen malé rozdíly, ale vyšší hmotnosti rostlin jsou u vzorku H, který obsahuje pouze lignohumát bez NPK. Pokud porovnáme vzorky A a C, tak vidíme, že vyšší hmotnosti mají rostliny vzorku C. U vzorku B a D je tomu naopak a vyšší hmotnosti mají rostliny vzorku B. Přítomnost NPK prokazatelně podporuje růst rostlin, které mají v jeho přítomnosti vyšší hmotnost. Přítomnost lignohumátu naopak zpomaluje uvolňování prvků NPK, rostliny potom mají nižší hmotnosti, ale prvky jsou rostlinám uvolňovány po delší dobu.



Obrázek 14. Průměrné délky kořenů rostlin pro časový úsek 60 dní

Obrázek 14 zobrazuje průměrné délky kořenů pro časový úsek 60 dní. V tomto případě jsou delší kořeny u vzorku A než u vzorku B, ale rozdíl je pouze velmi malý. U vzorku C jsou kořeny delší než u vzorku D. U vzorku H jsou kořeny kratší než u vzorku CH. U dvojice vzorků A a C jsou delší kořeny u vzorku A, který neobsahuje lignohumát. Stejně tak u vzorků B a D, kdy delší kořeny jsou u vzorku B. Jak již bylo zmíněno, přítomnost lignohumátu zpomaluje uvolňování prvků. Rostliny sice dosahují menších délek kořenů, ale rostou po delší dobu. Ovšem i v tomto případě jsou hodnoty nižší než u samotné půdy, ale i tak je zde vidět pozitivní vliv přítomnosti superabsorbentů, jelikož u vzorků půdy přežily pouze dvě rostliny (Tabulka 4).



Obrázek 15. Průměrné hmotnosti vypěstovaných rostlin pro časový úsek 74 dní

Obrázek 15 zobrazuje průměrné hmotnosti rostlin pro poslední časový úsek 74 dní. V tomto případě je vidět, že přítomnost vyššího množství NPK má za následek nižší hmotnosti rostlin. Vyšší hodnoty jsou u vzorků A a vzorku C, které obsahují nižší množství NPK než vzorky B a D. Vzorky C a D pak mají vyšší hodnoty i v porovnání se vzorky A a B. Přítomnost lignohumátu tak v dlouhodobém horizontu podporuje růst rostlin. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny u vzorku H, který obsahuje pouze lignohumát a žádné NPK. Hodnoty v samotné půdě jsou, kromě vzorku H, vyšší než u ostatních vzorků, ale přežily pouze 2 vzorky, kdežto u vzorků A, C a H průměrně o jeden víc. Tento čas nepovažujeme za příliš průkazný, jelikož celkově přežilo jen velmi málo vzorků.

Tabulka 3 obsahuje ukázkou naměřených a vypočtených hodnot z programu HARFA pro vzorky A. Hodnota D odpovídá koeficientu  $a$ , hodnota K odpovídá koeficientu  $b$  lineární regresní přímky. Popisek BW označuje rozhraní černé a bílé, ze které se vypočítá plocha kořenů a z BBW se vypočte objem kořenů. Z hodnot K bylo vypočteno zastoupení pixelů (pix) pro plochu a objem a tyto hodnoty vztaženy na analyzovanou plochu (rel.pix).

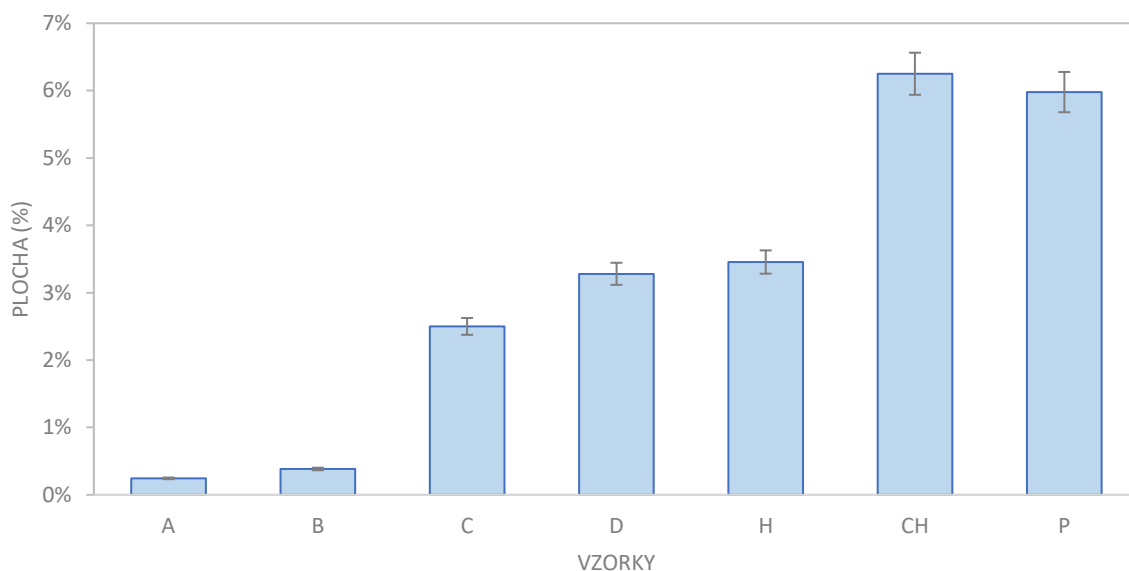
Tabulka 3. Ukázka naměřených a vypočtených hodnot z programu HARFA

<b>Vzorek</b>	<b>A-1</b>	<b>A-2</b>	<b>A-3</b>	<b>A1-1</b>	<b>A1-2</b>	<b>A1-3</b>	<b>A2-2</b>	<b>A2-3</b>
<b>D(BW)</b>	1,174	1,188	1,033	1,072	1,195	1,064	1,192	1,034
<b>D(BBW)</b>	1,263	1,256	1,149	1,158	1,289	1,186	1,254	1,125
<b>K(BW)</b>	8,079	8,356	6,944	7,558	8,077	7,226	8,438	6,763
<b>K(BBW)</b>	8,538	8,701	7,527	7,987	8,549	7,842	8,747	7,216
<b>pix(BW)</b>	3225	4255	1037	1916	3219	1374	4618	865
<b>pix(BBW)</b>	5107	6008	1857	2943	5160	2544	6294	1361
<b>rel.pix(BW)</b> [%]	0,308	0,406	0,099	0,183	0,307	0,131	0,440	0,082
<b>rel.pix(BBW)</b> [%]	0,487	0,573	0,177	0,281	0,492	0,243	0,600	0,130
<b>m (g)</b>	0,076	0,114	0,034	0,023	0,022	0,063	0,038	0,051

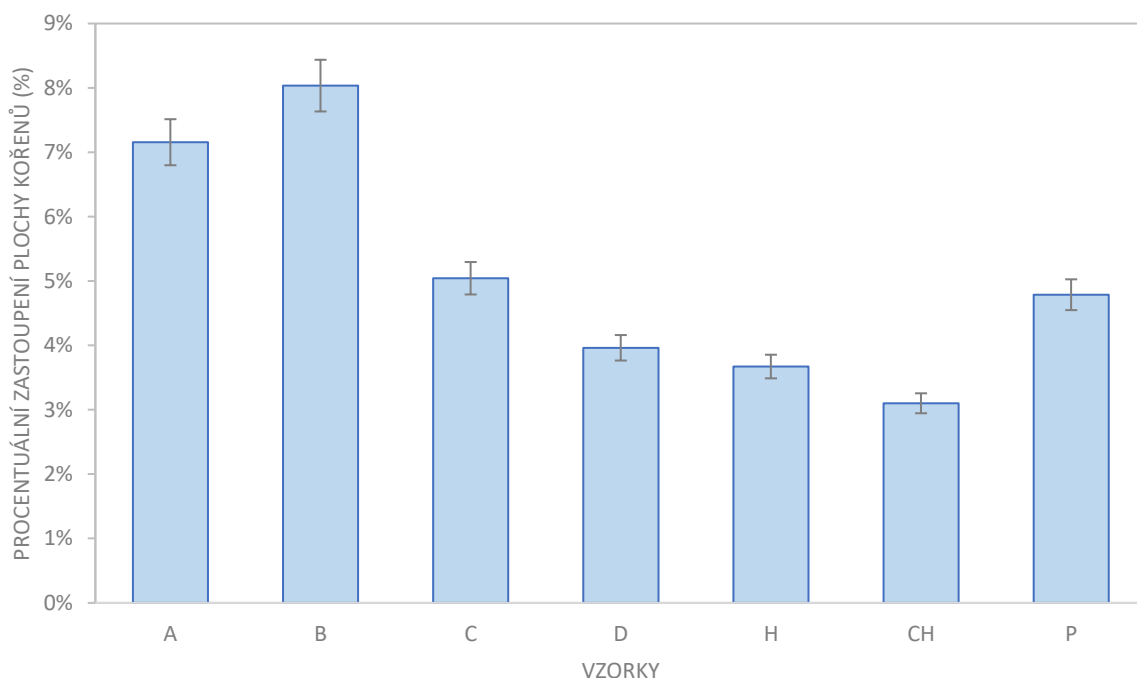
U všech vzorků byla analyzována stejná plocha (1024x1024 pixelů) výřezu upravených obrázků, a z ní vypočteny hodnoty pro plochu a objem kořenů. Vypočtené hodnoty výsledků plochy a objemu kořenů byly zprůměrovány a ukázku plochy pro časový horizont 46 dní pěstování kukuřice zobrazuje Obrázek 16. Při tomto časovém úseku je patrné, že v přítomnosti superabsorbentů, s výjimkou superabsorbentu CH, kořeny rostlin nedosahovaly ani zdaleka takové plochy a objemu jako kořeny bez přítomnosti superabsorbentů. V případě dvojic vzorků A, B a C, D je vidět, že větší plochu kořenů mají v obou případech vzorky s vyšším obsahem NPK (B, D). U vzorku s lignohumátem (D) mají plochy kořenů ještě vyšší hodnoty než u vzorku B. V případě dvojice vzorků H a CH jsou lepší výsledky u vzorku CH, který neobsahuje lignohumát ani NPK, ale váže na sebe pouze vodu. U vzorku CH můžeme předpokládat, že superabsorbent pojmul přidávanou vodu a postupně ji uvolňoval pro rostlinu. Přítomnost lignohumátu má potom nejen pozitivní vliv na délku kořenů, ale i na jejich plochu a objem. Jedná se ovšem o nejkratší časový úsek pěstování kukuřice. V tomto případě z experimentů vyplývá, že není nutné použití superabsorbentů, jelikož rostliny byly dostatečně zavlažovány a byly schopny živiny získat pouze z půdy. Tabulka 4 zobrazuje počet živých rostlin po pěstebním experimentu. Téměř u všech vzorků přežilo 8 z celkových 9 zasazených rostlin, a to i v případě půdy bez superabsorbentů. Použití superabsorbentů v krátkém časovém úseku tak nemá prokazatelné výhody.

Obrázek 17 zobrazuje opět průměrné zastoupení plochy kořenů pro časový úsek 60 dní pěstování kukuřice. V tomto časovém úseku pěstování je již vidět pozitivní vliv přítomnosti superabsorbentů v půdě. Vzorek CH, který měl v předchozím čase nejlepší vliv na růst, má nyní nejmenší plochu i objem kořenů, a to i oproti rostlinám v samotné půdě. Naopak vzorky rostlin v přítomnosti absorbentů A a B, které v předchozím čase měly nejmenší plochu i objem, mají v tomto čase nejlepší výsledky. Mezi vzorky A a B mají vyšší hodnoty rostliny vzorku B, který má vyšší množství NPK. Naopak je tomu tak i u vzorků C a D, kde vyšší hodnoty jsou u vzorku C s nižším obsahem NPK. Oproti předchozímu časovému úseku mají vyšší hodnoty právě vzorky A a B oproti vzorkům C a D. U vzorků H a CH je již vidět rozdíl oproti předchozímu času, vzorkům v přítomnosti superabsorbentu H se dařilo lépe, než v přítomnosti CH. V přítomnosti lignohumátu tak v delším časovém úseku dochází ke zpomalení uvolňování

nutrientů, které jsou rostlinám dodávány po delší dobu. Začínají se však projevovat pozitiva použití superabsorbentů, rostliny mají větší plochu a objem kořenů a přežívá více rostlin (Tabulka 4), v přítomnosti superabsorbentů přežily téměř všechny vzorky, kdežto u vzorků půdy přežily pouze dvě rostliny. Lepší výsledky v tomto čase tak vykazovaly rostliny v přítomnosti superabsorbentů bez lignohumátu, u těchto vzorků nejspíše docházelo k rychlejšímu uvolnění nutrientů, které byly využity rostlinami.



Obrázek 16. Průměrné procentuální zastoupení plochy kořenů pro časový úsek 46 dní

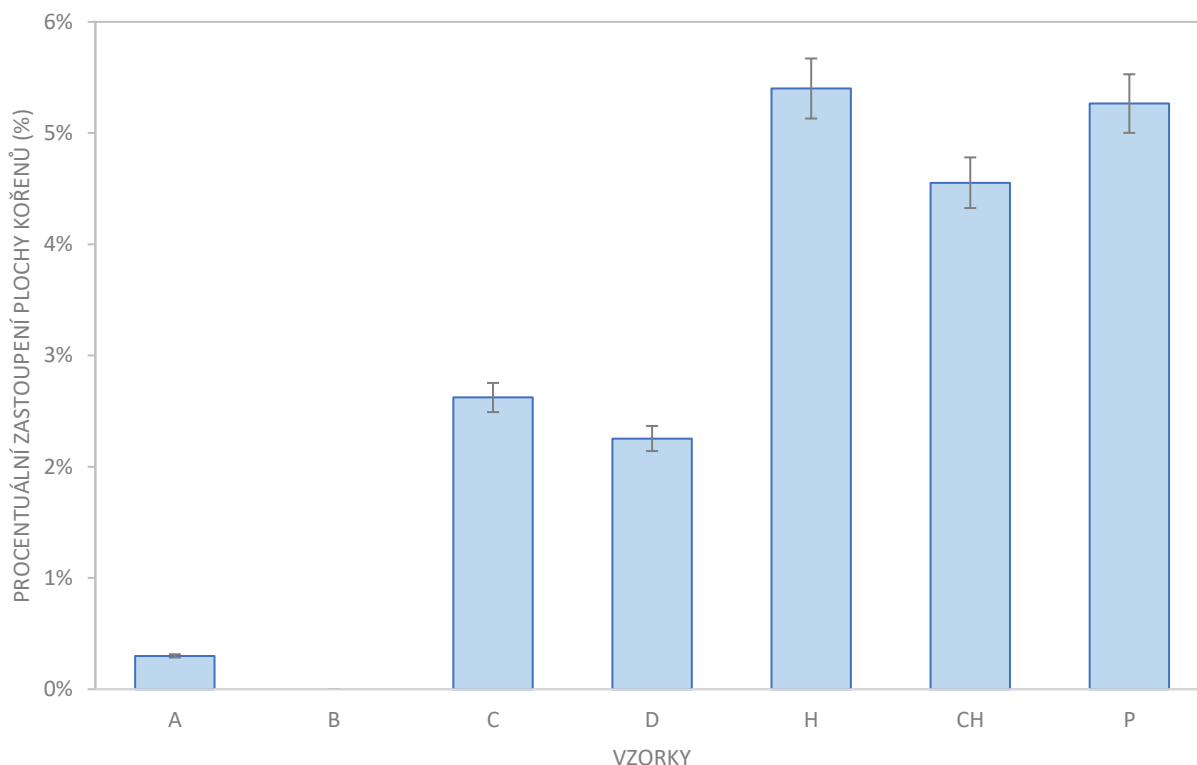


Obrázek 17. Průměrné procentuální zastoupení kořenů pro časový úsek 60 dní

U posledního času, tedy 74 dní pěstování, který zobrazuje Obrázek 18, lze vidět nejlepší růst rostlin kukuřice v přítomnosti superabsorbentu H. Nejhůře se dařilo rostlinám v přítomnosti superabsorbentu B, kdy v tomto časovém úseku nepřežila žádná z nich. Vzhledem k malému počtu přežití vzorků, není tento časový úsek příliš průkazný, ale i v tomto případě je zde vidět pozitivní vliv použití superabsorbentů. U vzorků A a B, které v předchozím čase dosahovaly nejlepších výsledků, mají nyní výsledky nejhorší, jelikož pravděpodobně došlo k uvolnění veškerého množství nutrientů a rostliny začaly strádat a v případě vzorku B i umírat. Naopak vzorky s lignohumátem vykazují lepší výsledky oproti předchozím časům. Kombinace NPK a lignohumátu má pozitivní vliv na růst rostlin a velikost kořenů. V tomto čase je vidět, že vzorky s nižším množstvím NPK mají lepší výsledky než totožné vzorky s vyšším množstvím (dvojice A, B a dvojice C, D). U vzorků H a CH dosahují rostliny vyšších výsledků v přítomnosti vzorku H, který obsahuje pouze lignohumát a žádné NPK. V dlouhém časovém úseku tedy lignohumát napomáhá i využití látek ze samotné půdy.

Tabulka 4. Počet živých rostlin po pěstebním experimentu

<b>Vzorek</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>H</b>	<b>CH</b>	<b>PŮDA</b>
<b>Čas (dny)</b>							
<b>46</b>	8	8	8	8	9	7	8
<b>60</b>	9	8	9	9	6	7	2
<b>74</b>	3	0	4	1	3	1	2



Obrázek 18. Průměrné procentuální zastoupení plochy kořenů pro časový úsek 74 dní

Kromě tohoto byla provedena korelace objemu kořenů s váhou rostliny. Při nejkratším časovém úseku, tedy 46 dní růstu rostlin byla vypočtena korelace na hodnotu 0,829. V případě časového úseku 60 dní na hodnotu 0,801 a pro časový úsek 74 dní 0,796. Všechny tři hodnoty ukazují silnou pozitivní korelaci, můžeme tedy říct, že s rostoucím objemem kořenů roste i jejich hmotnost. Ukázku hodnot pro časový úsek 74 dní, ze kterých byla vypočtena korelace znázorňuje Tabulka 5.

Tabulka 5. Hodnoty procentuálního zastoupení objemu kořenů a jejich hmotností

<b>Vzorek</b>	<b>A-1</b>	<b>A1-2</b>	<b>A1-3</b>	<b>C-1</b>	<b>C-2</b>	<b>C1-1</b>	<b>C2-1</b>
Procentuální zastoupení objemu kořenů (%)	0,65	0,12	1,32	4,57	5,65	9,26	7,35
m (g)	0,16	0,09	0,13	0,90	0,82	0,15	0,70
<b>Vzorek</b>	<b>D1-1</b>	<b>H-2</b>	<b>H-3</b>	<b>H2-2</b>	<b>CH-2</b>	<b>P-1</b>	<b>P2-2</b>
Procentuální zastoupení objemu kořenů (%)	5,43	7,17	15,99	12,26	10,22	9,81	10,97
m (g)	0,52	0,30	1,75	1,37	0,85	1,16	0,76

## 5.2 ROZBORY PŮDY

### 5.2.1 UV/VIS, pH, vodivost

Při měření UV/VIS spektra byly použity pouze vzorky z časového úseku 60 dní a 74 dní. Vlnová délka byla nastavena v rozsahu 200–800 nm. Obrázek 19 zobrazuje naměřené spektrum vzorku H pro časový úsek 60 dní. Z naměřených hodnot byla použita hodnota při vlnové délce 465 nm a hodnota při vlnové délce 665 nm, ze kterých byl vypočten humifikační index E46. Výsledné hodnoty pro časové úseky 60 a 74 dní zobrazuje Tabulka 6. Hodnota humifikačního indexu E46 vypovídá o molekulové hmotnosti. Čím menší je hodnota humifikačního indexu, tím větší je molekulová hmotnost. Největší molekulovou hmotnost má tak vzorek CH při době pěstování 74 dní. Naopak nejmenší molekulovou hmotnost má vzorek B při 60 dnech pěstování.

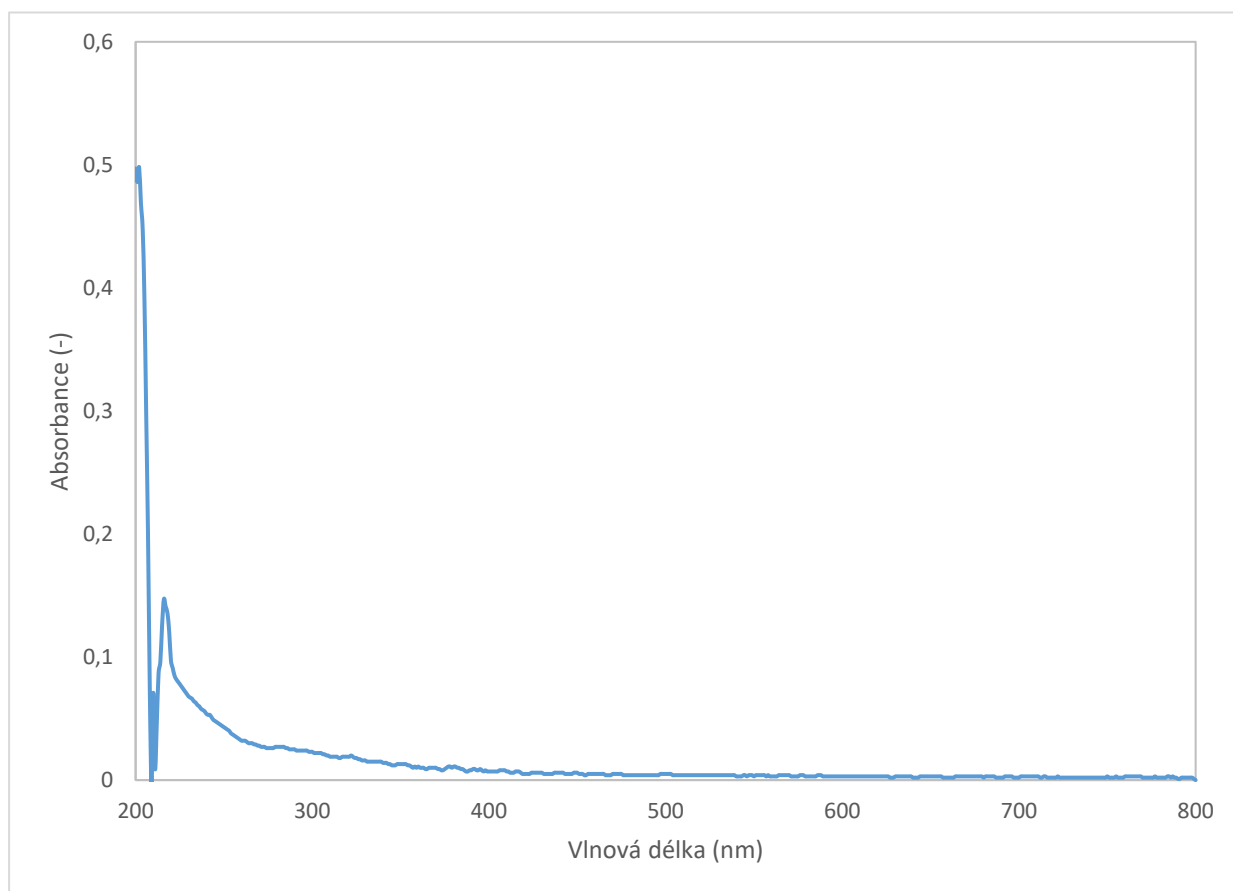
Tabulka 6. Humifikační indexy pro jednotlivé vzorky

<b>E46</b>		
<b>Vzorky</b>	<b>60 dní</b>	<b>74 dní</b>
<b>A</b>	1,0063	1,0063
<b>B</b>	4,0000	0,9952
<b>C</b>	1,0250	0,9857
<b>D</b>	1,0000	1,0000
<b>H</b>	1,4000	1,0282
<b>CH</b>	1,0000	0,5000
<b>P</b>	1,0000	0,9995

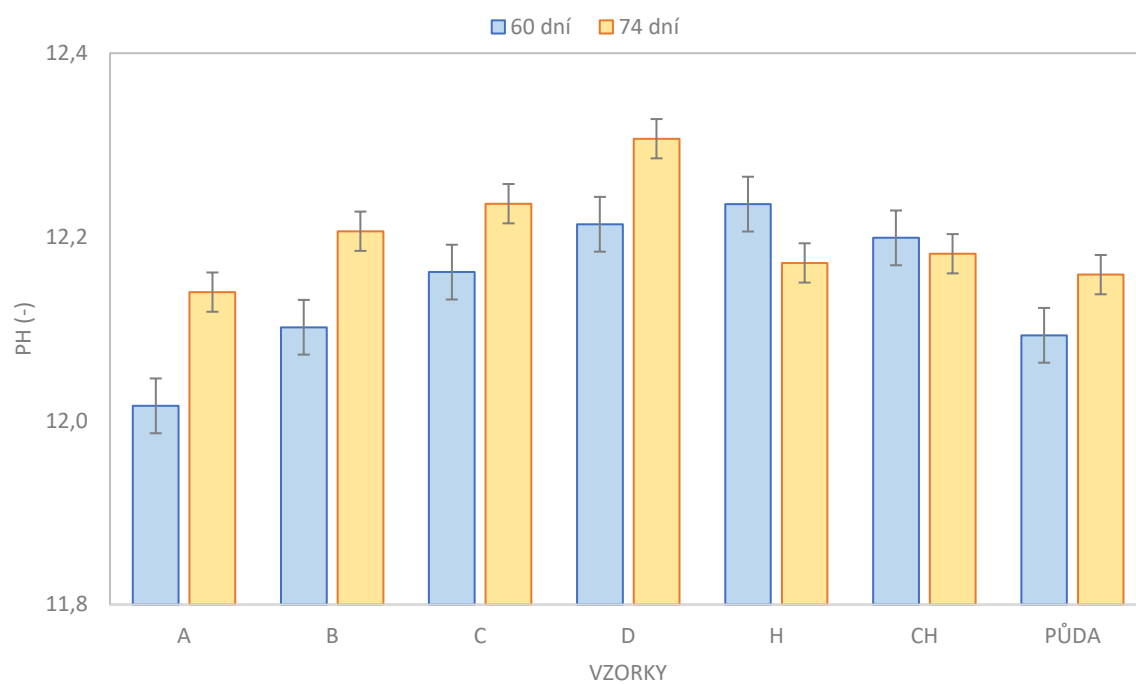
Pro měření pH a vodivosti byly použity stejné vzorky jako pro měření UV/VIS spektra. Vzorky byly nejprve proměřeny na pH metru a následně na konduktometru. Výsledné hodnoty byly

přepočteny na navážku 7 mg a porovnány. Pokud porovnáme naměřená pH, je vidět určitá závislost u vzorků, které se liší ve struktuře pouze navážkou NPK, v případě vzorků H a CH navážkou lignohumátu (Tabulka 2). Jak u dvojice vzorků A a B, tak i dvojice C a D je vidět patrný rozdíl v hodnotách pH. Vzorky, které obsahují více NPK, mají hodnoty vyšší. U dvojice vzorků H a CH je pouze velmi malý rozdíl v pH. U obou časových úseků má, s výjimkou vzorku A, nejnížší pH vzorek samotné půdy. Z výsledků je patrné, že v přítomnosti vyššího množství NPK dochází k nižšímu uvolňování oxoniových iontů do půdy. Obrázek 20 zobrazuje závislosti hodnot pH.

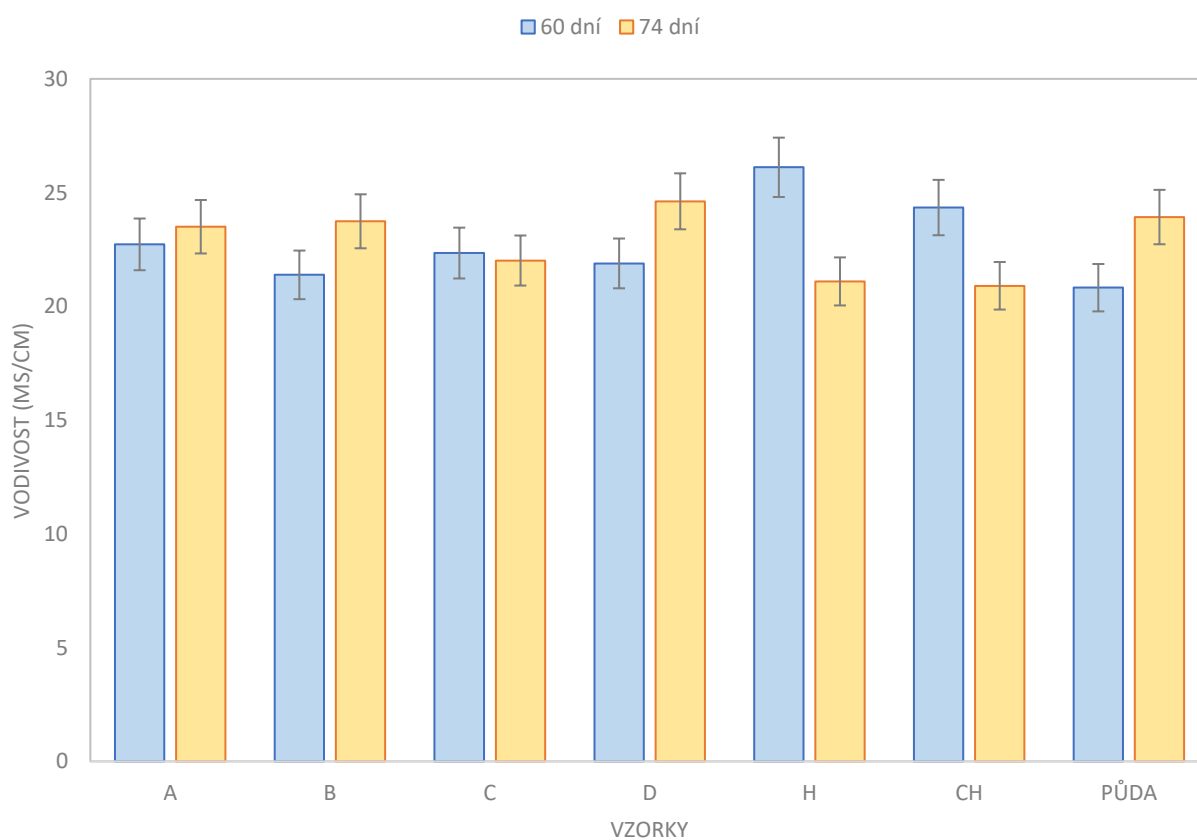
U hodnot vodivosti nejsou až tak patrné rozdíly, jak je tomu u pH. Při časovém úseku 60 dní je u zmíněných dvojic vzorků vidět, že vzorky s vyšším obsahem NPK mají nižší vodivost a v přítomnosti lignohumátu je vodivost, oproti vzorkům bez něho, jen nepatrně vyšší. Nejvyšší hodnotu vodivosti v tomto čase vykazuje vzorek H, který neobsahuje žádné NPK, ale obsahuje lignohumát. V časovém úseku 74 dní jsou závislosti jiné než v předchozím čase. U již zmíněných dvojic je v přítomnosti vyššího množství NPK i vyšší vodivost. V případě vzorků, které obsahují navíc i lignohumát, jsou hodnoty vodivosti vyšší než u vzorků bez lignohumátu. Nejvyšší vodivost v tomto čase vykazuje vzorek D, který obsahuje vyšší množství NPK a lignohumát. Přítomnost vyššího množství NPK tak podporuje uvolňování iontů do půdy. Obrázek 21 zobrazuje závislosti vodivosti pro oba měřené časové úseky.



Obrázek 19. UV spektrum pro vzorek H při časovém úseku 60 dní



Obrázek 20. Naměřené hodnoty pH pro časové úseky 60 a 74 dní



Obrázek 21. Naměřené hodnoty vodivosti pro časové úseky 60 a 74 dní



### 5.2.2 Rozbory půdy od firmy Agrolab spol. s.r.o. Troubsko

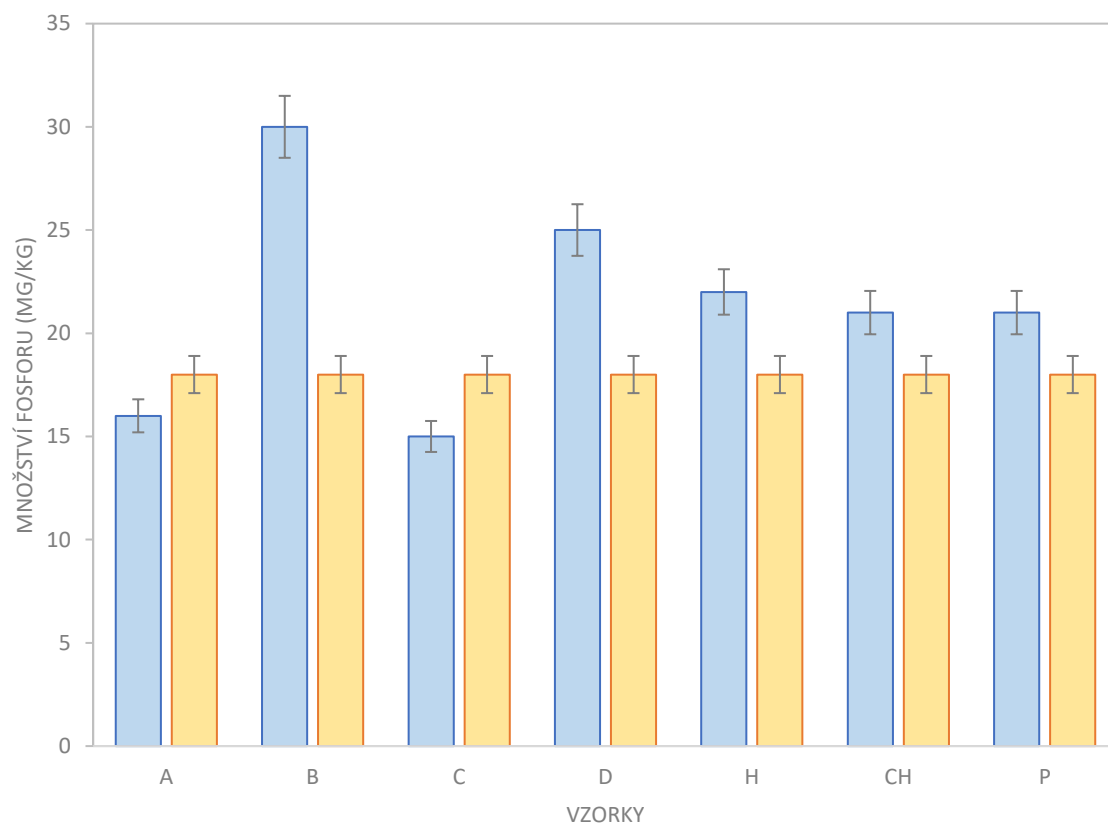
Rozbory půdy byly provedeny firmou Agrolab spol. s.r.o. Troubsko. Ve vzorcích půd byly změřeny prvky dusík, fosfor, draslík, hořčík, vápník a uhlík a rovněž pH půdy. Ukázku naměřených hodnot pro časový úsek 60 dní zobrazuje Tabulka 7. pH půdy se téměř neliší ani mezi vzorky, ani mezi vzorky a původní půdou. U naměřených prvků jsou již vidět patrné rozdíly v obsahu. Například při porovnání množství fosforu ve vzorku B s množstvím v původní půdě můžeme vidět, že je množství zhruba 2x vyšší než v původním vzorku půdy.

Tabulka 7. Naměřené hodnoty prvků v půdách pro časový úsek 60 dní

Vzorky	K	Mg	P	Ca	Nc	Cox	pH
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	% hm.	% hm.	
A	382	232	16	7423	0,13	1,01	7,2
B	4409	271	30	8106	0,13	1,08	7,2
C	328	259	15	8514	0,13	1,52	7,2
D	290	246	25	8166	0,10	2,00	7,3
H	385	262	22	8823	0,08	1,11	7,2
CH	455	244	21	8323	0,12	1,05	7,2
P	156	239	21	8213	0,11	1,50	7,2
Původní	186	242	18	8398	0,13	0,84	7,2

Hodnoty draslíku ve vzorcích jsou ve všech případech, kromě vzorku půdy, která byla použita na pěstování kukuřice, vyšší než u původní půdy. V případě hořčíku je množství vyšší u všech vzorků kromě vzorku A a půdy. Fosfor se v tomto čase nachází ve větším množství ve všech vzorcích kromě vzorků C a půdy. Naopak vápník má vyšší hodnoty pouze u vzorků C a H. Hodnoty dusíku jsou u vzorků A, B, C stejné jako v původní půdě, ostatní vzorky se potom liší jen nepatrně. V případě uhlíku jsou všechny hodnoty vyšší, než jsou v původní půdě. Ukázku grafického zobrazení množství fosforu zobrazuje Obrázek 22.

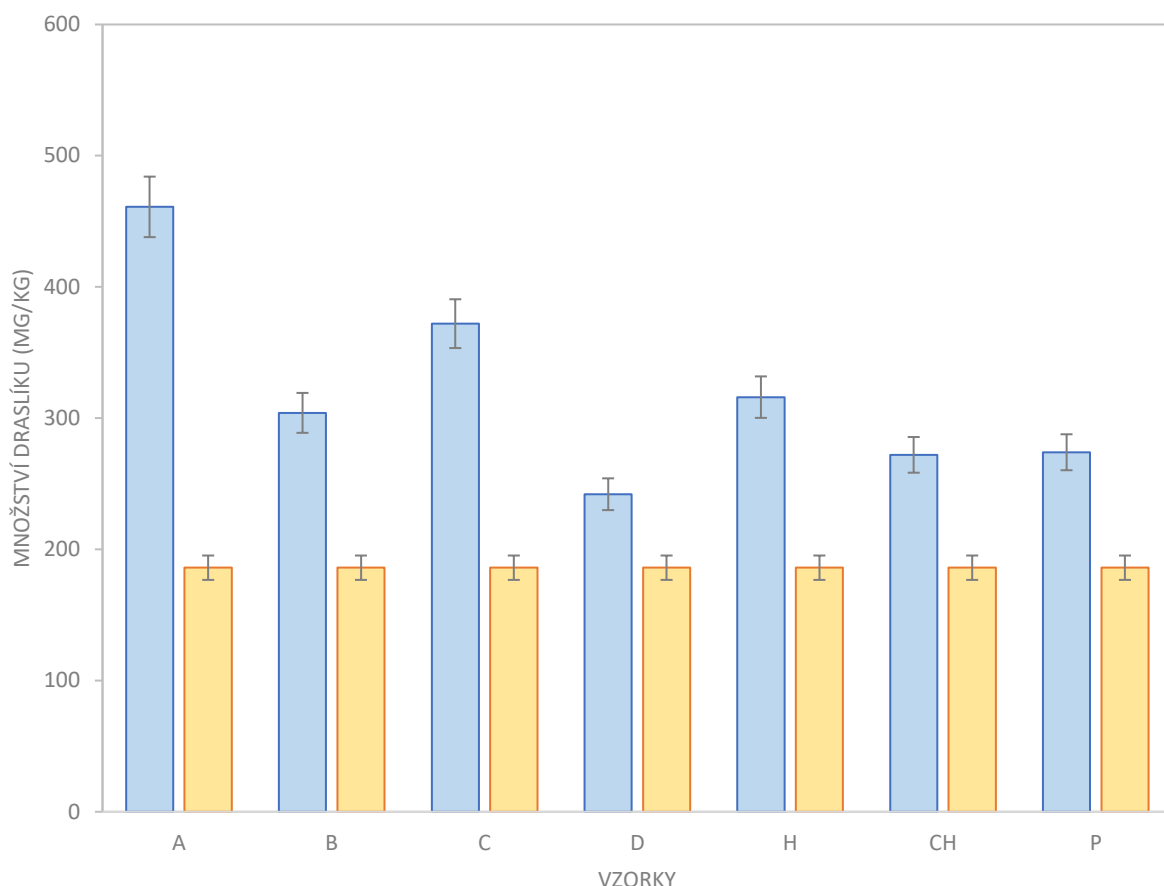
Výsledky pro časový úsek 74 dní zobrazuje Tabulka 8. V tomto případě je draslík ve všech vzorcích ve větším množství, než je tomu u původního vzorku půdy. Hořčík je nižší pouze u vzorků H a CH. Množství fosforu je nižší pouze u vzorků D a H, hodnoty vápníku jsou naopak vyšší pouze u vzorků B a D. Množství dusíku je kromě vzorků H a CH všude vyšší. Množství uhlíku je kromě vzorku B všude vyšší než v původní půdě. Ukázku grafického znázornění množství draslíku znázorňuje Obrázek 23.



Obrázek 22. Množství fosforu ve vzorcích (modrá) pro časový úsek 60 dní v porovnání s původním vzorkem půdy (oranžová)

Tabulka 8. Naměřené hodnoty prvků pro časový úsek 74 dní

Vzorky	K	Mg	P	Ca	Nc	Cox	pH
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	% hm.	% hm.	
<b>A</b>	461	238	23	7797	0,15	0,99	7,4
<b>B</b>	304	252	23	8558	0,15	0,60	7,2
<b>C</b>	372	265	25	8310	0,14	1,37	7,3
<b>D</b>	242	284	16	8918	0,14	1,14	7,3
<b>H</b>	316	235	15	8005	0,10	1,25	7,3
<b>CH</b>	272	228	27	8306	0,08	1,63	7,3
<b>P</b>	274	256	23	8222	0,13	1,11	7,2
<b>Původní</b>	186	242	18	8398	0,13	0,84	7,2



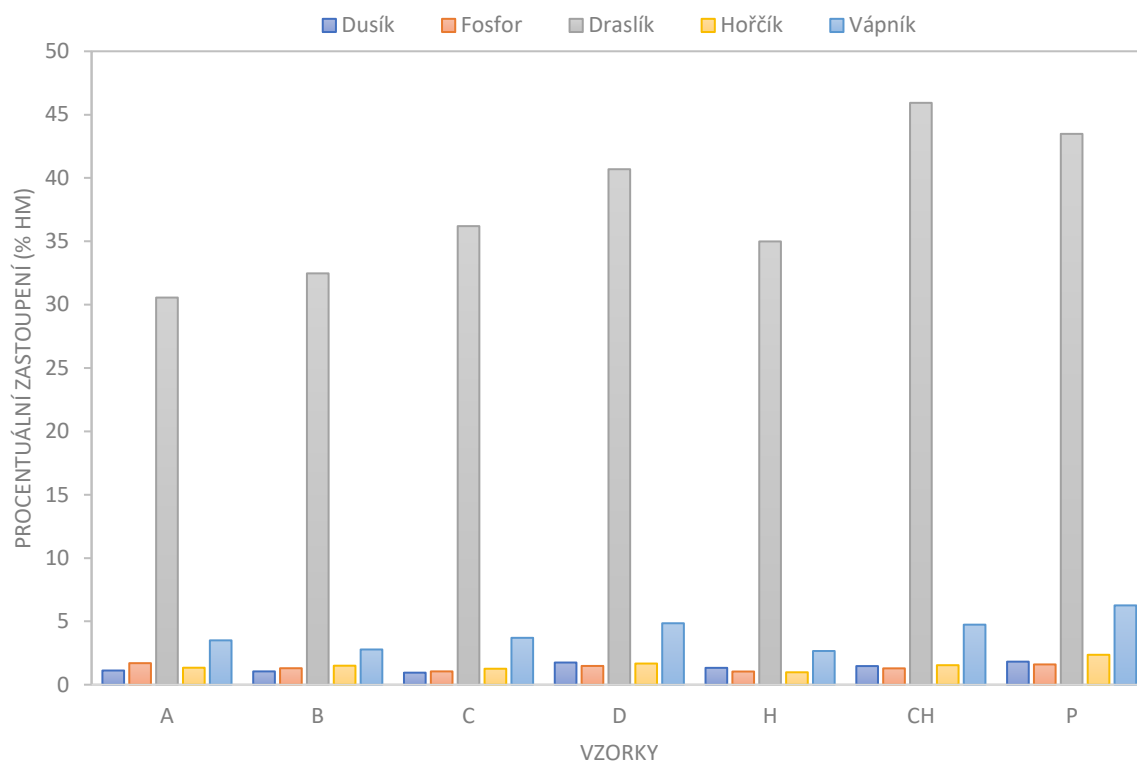
Obrázek 23. Množství draslíku (modrá) ve vzorcích pro časový úsek 74 dní v porovnání s původním vzorkem půdy (oranžová)

Při porovnání časových úseků mezi sebou dochází ve většině případů k uvolňování vyššího množství prvků v čase 74 dní. V případě vzorků A a C, které mají totožnou strukturu s výjimkou množství lignohumátu (Tabulka 2) a vzorku samotné půdy došlo v čase 74 dní k navýšení množství prvků draslíku, hořčíku, fosforu, vápníku a organického dusíku v půdě oproti času 60 dní. V případě draslíku došlo k navýšení v půdě pouze u již zmíněných vzorků A, C a půdy. U ostatních vzorků se množství snížilo, z čehož lze usuzovat, že nižší množství NPK zvyšuje množství uvolněného draslíku do půdy. U hořčíku a fosforu je podobná závislost jako u draslíku, opět u vzorků A, C a půdy došlo ke snížení jejich obsahu. V případě vápníku došlo k poklesu u všech vzorků kromě vzorků H a CH, které neobsahují NPK. Hodnoty organického dusíku poklesly u všech vzorků, kromě vzorku CH. Naopak u oxidovatelného uhlíku, tedy organické hmoty, došlo téměř u všech vzorků ke zvýšení množství v půdě. Z výsledků vyplývá, že nižší množství NPK způsobilo vyšší uvolnění všech prvků, kromě oxidovatelného uhlíku, do půdy. Vyšší množství NPK podporuje uvolnění vápníku a dusíku do půdy a kombinace vyššího množství NPK a lignohumátu způsobí větší uvolnění hořčíku do půdy. Ačkoli došlo mezi jednotlivými časy ke snížení, případně zvýšení množství prvků v půdě s obsahem superabsorbentů, u obou časových úseků došlo ke zvýšení množství oproti množství v původní půdě před experimentem. Přítomnost superabsorbentů v půdě tedy prokazatelně zvyšuje množství jednotlivých prvků v půdě.

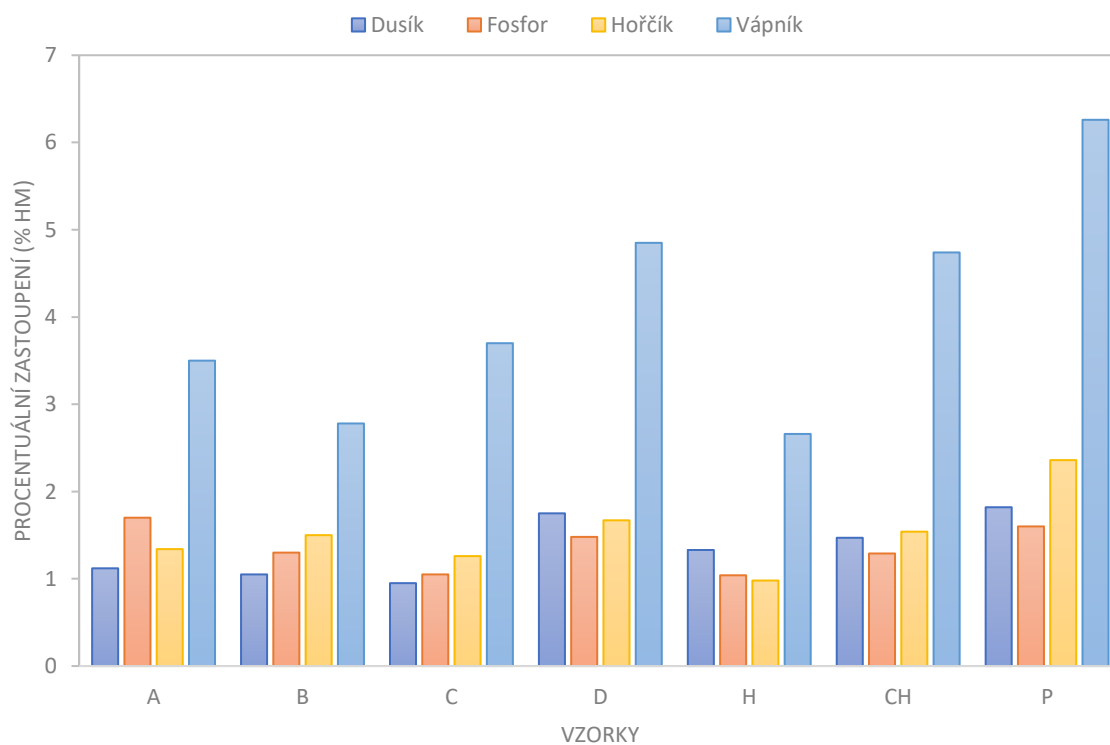
### 5.3 ROZBORY ROSTLIN

Rozbory rostlin byly provedeny stejnou laboratoří jako rozbory půdy. Pro rozbory kukuřice byly použity vzorky z časového úseku 60 dní, jelikož v posledním čase nebyly žádné vzorky rostlin B. V rostlinách bylo měřeno množství dusíku, fosforu, draslíku, hořčíku a vápníku a porovnáno s rostlinami, které rostly pouze v půdě bez přidáných superabsorbentů.

Téměř ve všech případech je v rostlinách, které rostly v přítomnosti superabsorbentů, nižší množství prvků, než je tomu u rostlin, které rostly bez nich. Obrázek 24 znázorňuje zastoupení všech měřených prvků v rostlinách. Pro větší přehlednost následně slouží Obrázek 25, kde byl odebrán draslík. Největší množství dusíku, vápníku a hořčíku bylo naměřeno u vzorku D, nejvyšší množství draslíku u vzorku CH a největší množství fosforu u vzorku A. Ze struktury superabsorbentů (Tabulka 2) je patrné, že přítomnost lignohumátu podporuje uvolňování dusíku, vápníku a hořčíku, které následně rostlina dokáže využít. Přítomnost lignohumátu podporuje i uvolňování fosforu a draslíku, jelikož u vzorku D byly druhé nejvyšší hodnoty. Nejnižší hodnoty fosforu, hořčíku a vápníku byly naměřeny u vzorku H, což odporuje předchozímu předpokladu, že přítomnost lignohumátu podporuje uvolňování daných prvků, proto je pravděpodobné, že za nejvyšší hodnoty u vzorku D může kombinace lignohumátu a NPK. Nejnižší hodnota dusíku byla naměřena u vzorku C a nejnižší hodnota draslíku u vzorku A. Oproti prvkovému složení v původních rostlinách došlo k úbytku množství prvků, přítomnost v superabsorbentů v půdě tedy pravděpodobně snižuje množství prvků v rostlinách, ale zároveň podporuje jejich růst v dlouhodobém horizontu.



Obrázek 24. Naměřené hodnoty prvků v rostlinách



Obrázek 25. Naměřené hodnoty N, P, Mg a Ca v rostlinách

## 6 ZÁVĚR

Cílem práce bylo navázat na práci bakalářskou a aplikovat připravené superabsorbenty v praxi, konkrétně při pěstování kukuřice seté. V experimentální části byly tedy nejprve připraveny superabsorpční polymery, které byly použity pro následný pěstební experiment. Naklíčená zrnka kukuřice byla zasazena do půdy s přídavkem polymerů a po časové úseky 46, 60 a 74 dní pěstována.

Výsledky hmotností a délek kořenů v krátkém časovém úseku (46 dní) neprokázaly nutnost použití superabsorbentů při pěstování rostlin, jelikož rostliny byly schopné potřebné nutrienty dostat pouze z půdy. U delšího časového úseku (60 dní) již výhody použití prokázány byly. Rostliny v přítomnosti superabsorbentů dosahovaly vyšší hmotnosti, a i větších délek kořenů. Kromě toho přežilo více rostlin. V nejdelším časovém úseku (74 dní) rostliny měly delší délky kořenů, ale ve většině případů nižších hmotností. Časový úsek ovšem není velmi průkazný vzhledem k nízkému počtu přeživších rostlin.

Po vyhodnocení pěstebního experimentu v programu HARFA byl vypořizován vliv přídavku superabsorbentů v půdě. Při nejkratším časovém úseku pěstování je vidět, že přítomnost superabsorbentů je spíše na škodu než k užtku. Lépe se dařilo rostlinám v jejich nepřítomnosti, případně pouze v přítomnosti superabsorbentu CH, který ve své struktuře neobsahoval žádné přidané nutrienty a vázal tak pouze vodu. V krátkém časovém úseku, jako je 46 dní tedy nemá použití superabsorbentů prokazatelné výhody, jelikož rostliny jsou schopné důležité prvky své výživy získat z půdy. Zároveň v tomto čase přežilo nejvíce vzorků, konkrétně 56 z celkových 63. V následujícím časovém úseku, tedy 60 dní, je již vidět pozitivní vliv přítomnosti superabsorbentů. Rostliny v jejich přítomnosti dosahovaly větší plochy i objemu kořenů a pěstování přežilo i více zástupců od jednotlivých vzorků. Plochy kořenů u rostlin, které v půdě neobsahovaly žádný superabsorbent, dosahují větších hodnot než u vzorku CH, ale v případě pouze půdních vzorků přežily pouze dva, kdežto u superabsorbentu CH jich přežilo 7 z celkového počtu devíti zasazených kukuřic. Celkově pak přežilo 50 z 63 rostlinek. V posledním časovém úseku 74 dní, přežilo nejméně vzorků, proto tento čas nepovažujeme za příliš průkazný, ale můžeme vidět určitou závislost, kdy v dlouhodobém horizontu vyšší množství NPK, které je ve vzorcích B a D, spíše rostlinám škodí a ty tak chřadnou. Naopak přítomnost lignohumátu pozitivně ovlivňuje růst kořenů. Ale z hodnot korelací u všech časů byla prokázána silná pozitivní závislost mezi objemem kořenů a hmotností rostlin, což znamená, že čím větší objem zabíraly kořeny, tím větší měly rostliny hmotnost.

Výsledky z měření pH prokázaly uvolňování oxoniových iontů do půdy. Oproti vzorkům půdy v časovém úseku 60 dní byly kyselejší vzorky pouze s přídavkem NPK (A, B). Vzorky, které již obsahovaly ve své struktuře lignohumát mají hodnoty pH vyšší a jsou tak zásaditější, což je právě následek přítomnosti bazického lignohumátu. Nejzásaditější vzorek je potom vzorek H, který ve své struktuře obsahuje pouze lignohumát. Při době pěstování 74 dnů je kyselejší pouze vzorek A. Ostatní vzorky jsou zásaditější v porovnání se vzorkem s půdou. Nejvyšší hodnota pH zde byla naměřena u vzorku D, který kromě lignohumátu obsahuje i vyšší množství NPK. V delším časovém horizontu tedy dochází i v přítomnosti NPK k nižšímu uvolňování oxoniových iontů do půdy.

V případě vodivosti je u času 60 dní závislost mezi dvojicemi vzorků se stejnou strukturou a pouze odlišným obsahem NPK. Vzorky, které mají vyšší množství NPK, mají nižší vodivost než ty samé vzorky s nižším obsahem NPK. V tomto případě tak vyšší množství NPK zpomaluje uvolňování iontů do půdy, naopak přítomnost lignohumátu podstatně zvyšuje rychlost uvolňování. V delším časovém horizontu naopak přítomnost NPK podporuje uvolňování iontů.

Rozbory půdy prokázaly odlišnosti v prvkovém složení, konkrétně prvků draslíku, hořčíku, fosforu, vápníku, dusíku a uhlíku. U obou časů je ve všech vzorcích se superabsorbenty vyšší množství draslíku než v původním vzorku půdy. Draslík byl přítomen v NPK a zároveň i v základní struktuře superabsorbentů, proto jsou hodnoty vyšší i u vzorků, které neobsahují NPK. Hladiny hořčíku v půdě jsou různé, ale ve většině případů jsou rovněž vyšší. Stejně je tomu tak i u ostatních prvků. Z výsledků je ovšem patrné, že přítomnost superabsorbentů zvyšuje množství prvků v půdě a tím tak napomáhá růstu rostlin.

Na rozdíl od půdy, kde docházelo ke zvyšování množství prvků, rozbory rostlin kukuřice prokázaly snížení množství jednotlivých prvků. Největší množství prvků měly rostliny, které rostly v půdě bez přítomnosti superabsorbentů. Přítomnost superabsorbentů tak obecně snižuje množství prvků v rostlinách, ale napomáhá růstu a zvyšuje pravděpodobnost přežití rostlin.

V této práci byl prokázán pozitivní vliv superabsorbentů při aplikaci v zemědělství. Ve většině případů vykazovaly rostliny vyšší hmotnosti, kořeny rostlin větší plochu, délku a objem a zároveň přežilo více zástupců, než tomu bylo u vzorků se samotnou půdou. Díky svým absorpčním schopnostem rovněž snižují spotřebu vody, proto je vhodné i použití v suchých oblastech Země. Superabsorbenty mají pozitivní vliv na prvkové složení půdy, ale zároveň snižují množství těchto prvků v rostlinách. I přes tento fakt by bylo použití v zemědělství velmi výhodné.

## 7 SEZNAM CITACÍ

- [1] BAI, W., H. ZHANG, B. LIU, Y. WU and J. SONG. 2010. Effects of super-absorbent polymers on the physical and chemical properties of soil following different wetting and drying cycles. *Soil Use and Management*. **26**(3), 253-260.
- [2] Nnadi, F., & Brave, C. (2011). Environmentally friendly superabsorbent polymers for water conservation in agricultural lands. *Journal of Soil Science and Environmental Management*. **2011**(2), 206-211
- [3] KIATKAMJORNWONG, Suda. 2007. Superabsorbent Polymers and Superabsorbent Polymer Composites. *ScienceAsia*. **33**(1), 39-43.
- [4] BUCHHOLZ, Fredric L. 1996. Superabsorbent Polymers: An Idea Whose Time Has Come. *Journal of Chemical Education*. **73**(6), 512-515.
- [5] TRENKEL, Martin E. 1997. *Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture*. 1. Paris: International Fertilizer Industry Association.
- [6] Těžké kovy v půdě. 2004. *Mendelova univerzita v Brně* [online]. Brno: Mendelova univerzita. Available at: [http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/agrochemie\\_pudy/pudat\\_k.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/pudat_k.htm)
- [7] TRINH, Thanh H. and KuZilati KUSHAARI. 2016. Dynamic of Water Absorption in Controlled Release Fertilizer and its Relationship with the Release of Nutrient. *Procedia Engineering*. **148**, 319-326.
- [8] Essential Nutrients for Plants. 2018. *Texas A&M Agrilife extension* [online]. College Station: The Texas A&M University System. Available at: <https://cdn-ext.agnet.tamu.edu/wp-content/uploads/2018/11/ESC-009-essential-nutrients-for-plants.pdf>
- [9] CARLSON, Carrie and Shane LE CAPITaine. NPK Fertilizer: What Is It And How Does It Work?. FEECO International [online]. FEECO International. Available at: <https://feeco.com/npk-fertilizer-what-is-it-and-how-does-it-work/>
- [10] ERSEK, Kaitlyn. 2012. The 6 Essential Nutrients For Healthy Plants. *Soil Health. Root Growth. Crop Yield*. [online]. Aston: Holganix. Available at: <https://www.holganix.com/blog/the-6-essential-nutrients-for-healthy-plants>



- [11] UCHIDA, R. Essential nutrients for plant growth: nutrient functions and deficiency symptoms. *Plant nutrient management in Hawaii's soils*, 2000, 31-55.
- [12] KOOLMAN, Jan and Klaus-Heinrich RÖHM. 2012. *Barevný atlas biochemie*. 4. Praha: Grada.
- [13] MALHOTRA, Hina, VANDANA, Sandeep SHARMA and Renu PANDEY. 2018. Phosphorus Nutrition: Plant Growth in Response to Deficiency and Excess. *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*. Singapore: Springer Singapore, **2018**, 171-190.
- [14] HASANUZZAMAN, Mirza, M. BHUYAN, Kamrun NAHAR, et al. 2018. Potassium: A Vital Regulator of Plant Responses and Tolerance to Abiotic Stresses. *Agronomy*. **8**(3), 1-29.
- [15] Klíč k určování deficiencie kukuřice seté. *Katedra experimentální biologie rostlin* [online]. Praha: Přírodovědecká fakulta. Available at: [http://kfrserver.natur.cuni.cz/lide/edmunz/praktika\\_fr/mb130c14/navody/klic.pdf](http://kfrserver.natur.cuni.cz/lide/edmunz/praktika_fr/mb130c14/navody/klic.pdf)
- [16] WHITE, P. J. 2003. Calcium in Plants. *Annals of Botany*. 92(4), 487-511.
- [17] Systémy druhých poslů. *Lékařská fakulta Univerzita Karlova* [online]. Praha: 1. Lékařská fakulta. Available at: <http://www1.lf1.cuni.cz/~zfishar/bp/4.3.htm>
- [18] What's the Function of Calcium (Ca) in Plants?. 2017. Greenway Biotech, Inc. [online]. Santa Fe Springs: Greenway Biotech. Available at: <https://www.greenwaybiotech.com/blogs/news/whats-the-function-of-calcium-ca-in-plants>
- [19] What's the Function of Magnesium (Mg) in Plants? 2018. *Greenway Biotech, Inc* [online]. Santa Fe Springs: Greenway Biotech. Available at: <https://www.greenwaybiotech.com/blogs/gardening-articles/whats-the-function-of-magnesium-mg-in-plants>
- [20] Moore, G A. (2001), *Soilguide (Soil guide): a handbook for understanding and managing agricultural soils*. Department of Agriculture and Food, Western Australia, Perth. Bulletin 4343.
- [21] Rostlinná buňka. *Katedra experimentální biologie rostlin* [online]. Praha: Přírodovědecká fakulta. Available at: <http://kfrserver.natur.cuni.cz/studium/prednasky/anatomie/anatomie/bunka.pdf>

- [22] Eukarya (eukaryota) – rostlinná buňka. 2014. *Biologie a genetika pro bakaláře* [online]. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita. Available at: [http://cit.vfu.cz/opvk2014/?title=teorie-eukarya\\_rostlinna\\_bunka&lang=cz](http://cit.vfu.cz/opvk2014/?title=teorie-eukarya_rostlinna_bunka&lang=cz)
- [23] Protoplasty. *Katedra experimentální biologie rostlin* [online]. Praha: Přírodovědecká fakulta. Available at: [http://kfrserver.natur.cuni.cz/lide/schwarze/web\\_praktikum/protoplasty\\_uloha1.htm](http://kfrserver.natur.cuni.cz/lide/schwarze/web_praktikum/protoplasty_uloha1.htm)
- [24] Rostlinná buňka. *Mendelova univerzita v Brně* [online]. Brno: Mendelova univerzita. Available at: [http://web2.mendelu.cz/af\\_211\\_multitext/obecna\\_botanika/texty-cytologie-rostlinna\\_bunka.html](http://web2.mendelu.cz/af_211_multitext/obecna_botanika/texty-cytologie-rostlinna_bunka.html)
- [25] Struktura a funkce eukaryotických buněk. 2010. *Biologie* [online]. Ostrava: EDUCAnet Ostrava. Available at: [https://ostrava.educanet.cz/www/biologie/indexc655c655.html?option=com\\_content&view=article&id=54&Itemid=54](https://ostrava.educanet.cz/www/biologie/indexc655c655.html?option=com_content&view=article&id=54&Itemid=54)
- [26] Funkční morfologie buněk. *Funkce buněk a lidského těla* [online]. Praha: 3. lékařská fakulta UK. Available at: <http://fbt.cz/skripta/i-struktura-bunky/1-funkcni-morfologie-bunek/>
- [27] Plant cell. 2017. *Biology dictionary* [online]. Atlanta: Biology dictionary. Available at: <https://biologydictionary.net/plant-cell/>
- [28] Výukové a studijní materiály pro mikroskopické cvičení z předmětu Botanika. 2018. *Fakulta veterinární hygieny a ekologie* [online]. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita. Available at: [https://fvhe.vfu.cz/files/Anatomie\\_a\\_morfologie\\_rostlin.pdf](https://fvhe.vfu.cz/files/Anatomie_a_morfologie_rostlin.pdf)
- [29] Fotosyntéza. *Katedra experimentální biologie rostlin* [online]. Praha: Přírodovědecká fakulta. Available at: [http://kfrserver.natur.cuni.cz/studium/prednasky/pavlova/fyzrost/3\\_Fotosynteza.pdf](http://kfrserver.natur.cuni.cz/studium/prednasky/pavlova/fyzrost/3_Fotosynteza.pdf)
- [30] Fotosyntéza. *Agrobiologie.cz* [online]. Praha: Česká zemědělská univerzita. Available at: [http://kbfr.agrobiologie.cz/download/PK\\_dodatek.pdf](http://kbfr.agrobiologie.cz/download/PK_dodatek.pdf)
- [31] Metabolické procesy. *Masarykova univerzita* [online]. Brno: Přírodovědecká fakulta. Available at: [https://www.sci.muni.cz/~fyzrost/part\\_02.pdf](https://www.sci.muni.cz/~fyzrost/part_02.pdf)
- [32] *Základy biochemie* [online]. Brno: Mendelova univerzita. Available at: [http://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty2/vseo/print.php?page=1883&typ=html](http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=1883&typ=html)

- [33] Fosforylace. *Centrum informačních služeb VŠCHT Praha* [online]. Praha: VŠCHT. Available at: [https://vydavatelstvi-old.vscht.cz/knihy/uid\\_es-002\\_v1/hesla/fotofosforylace.html](https://vydavatelstvi-old.vscht.cz/knihy/uid_es-002_v1/hesla/fotofosforylace.html)
- [34] Kukuřice setá. 2006. *Multimediální učební texty pícninářství* [online]. Brno: MZLU. Available at: [https://web2.mendelu.cz/af\\_222\\_multitext/picniny/sklady.php?odkaz=kukurice.html](https://web2.mendelu.cz/af_222_multitext/picniny/sklady.php?odkaz=kukurice.html)
- [35] *Kukuřice setá (Zea mays L)* [online]. České Budějovice: Jihočeská univerzita. Available at: [http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/database/Kukurice\\_seta.htm](http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/database/Kukurice_seta.htm)
- [36] KUKUŘICE (Zea mays). *Polní plodiny* [online]. Brno: Tichá Markéta. Available at: <https://cit.vfu.cz/vegetabilie/plodiny/czech/kukurice.htm>
- [37] Příjem živin rostlinami. *Mendelova univerzita v Brně* [online]. Brno: Mendelova univerzita. Available at: [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=71341](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=71341)
- [38] Mechanismus příjmu a transportu látek v rostlině. 2004. *Mendelova univerzita v Brně* [online]. Brno: Richter Rostislav. Available at: [http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/prijem\\_zivin/mechanismus.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/prijem_zivin/mechanismus.htm)
- [39] Příjem živin kořeny. 2004. *Mendelova univerzita v Brně* [online]. Brno: Richter Rostislav. Available at: [http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/prijem\\_zivin/prijem\\_koreny.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/prijem_zivin/prijem_koreny.htm)
- [40] Staging Corn Growth. *Pioneer* [online]. Johnston: Corteva. Available at: [https://www.pioneer.com/us/agronomy/staging\\_corn\\_growth.html](https://www.pioneer.com/us/agronomy/staging_corn_growth.html)
- [41] Corn growth and development. 2016. *Corn agronomy* [online]. Manhattan: Kansas State University. Available at: <http://corn.agronomy.wisc.edu/Management/pdfs/Corn%20Growth%20and%20Development%20poster.pdf>
- [42] KADLEC, Pavel. 2008. *Technologie potravin I. 1*. Praha: VŠCHT.
- [43] Definice, význam a funkce půdy. 2011. *Inovace výuky v bezpečnosti potravin* [online]. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita. Available at: [https://cit.vfu.cz/ivbp/wp-content/uploads/2011/07/Definice\\_vyznam\\_a\\_funkce\\_pudy.pdf](https://cit.vfu.cz/ivbp/wp-content/uploads/2011/07/Definice_vyznam_a_funkce_pudy.pdf)

- [44] Pojem půdy. 2004. *Informační systém Masarykovy univerzity* [online]. Brno: Masarykova univerzita. Available at: [https://is.muni.cz/el/1431/podzim2004/G8141/um/102910/Pojem\\_pudy.pdf](https://is.muni.cz/el/1431/podzim2004/G8141/um/102910/Pojem_pudy.pdf)
- [45] Definice, význam a funkce půdy. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí. Available at: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice\\_pudy/\\$FILE/OOHPP-Definice\\_pudy-20080820.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice_pudy/$FILE/OOHPP-Definice_pudy-20080820.pdf)
- [46] Stanovení půdního druhu makroskopicky. 2011. *Mendelova univerzita v Brně* [online]. Brno: Mendelova univerzita. Available at: [http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/npv2/index.php?N=1&I=3&J=1&K=0](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/npv2/index.php?N=1&I=3&J=1&K=0)
- [47] Zrnitostní složení půdy. 2015. *Mendelova univerzita v Brně* [online]. Brno: Mendelova univerzita. Available at: [https://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty/files/19/19-zrnitost.pdf](https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files/19/19-zrnitost.pdf)
- [48] Půda a výživa rostlin. 2012. *Mendelova univerzita v Brně* [online]. Brno: Mendelova univerzita. Available at: [http://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_sklad/frvs/hrudova/index\\_soubory/Page2229.htm](http://web2.mendelu.cz/af_291_sklad/frvs/hrudova/index_soubory/Page2229.htm)
- [49] HÜTTERMANN, Aloys, Lawrence J. B. ORIKIRIZA and Hillary AGABA. 2009. Application of Superabsorbent Polymers for Improving the Ecological Chemistry of Degraded or Polluted Lands. *CLEAN - Soil, Air, Water*. 37(7), 517-526.
- [50] LIANG, Rui, Mingzhu LIU and Lan WU. 2007. Controlled release NPK compound fertilizer with the function of water retention. *Reactive and Functional Polymers*. 67(9), 769-779.
- [51] ZHOU, Tao, Yan WANG, Sheng HUANG and Youcai ZHAO. 2018. Synthesis composite hydrogels from inorganic-organic hybrids based on leftover rice for environment-friendly controlled-release urea fertilizers. *Science of The Total Environment*. 615, 422-430.
- [52] MONTESANO, Francesco F., Angelo PARENTE, Pietro SANTAMARIA, Alessandro SANNINO and Francesco SERIO. 2015. Biodegradable Superabsorbent Hydrogel Increases Water Retention Properties of Growing Media and Plant Growth. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 4, 451-458.
- [53] MOHANA RAJU, K and M PADMANABHA RAJU. 2001. Synthesis of novel superabsorbing copolymers for agricultural and horticultural applications. *Polymer International*. 50(8), 946-951.

- [54] DEMITRI, C., F. SCALERA, M. MADAGHIELE, A. SANNINO and A. MAFFEZZOLI. 2013. Potential of Cellulose-Based Superabsorbent Hydrogels as Water Reservoir in Agriculture. *International Journal of Polymer Science*. **2013**, 1-6.
- [55] MO, Chu, Zhu SHU-QUAN, Li HUA-MIN, Huang ZHAN-BIN and Li SHU-QIN. 2006. Synthesis of poly(acrylic acid)/sodium humate superabsorbent composite for agricultural use. *Journal of Applied Polymer Science*. **102**(6), 5137-5143.

## 8 SEZNAM ZKRATEK

ER	Endoplazmatické retikulum
GA	Golgiho aparát
PS II	Fotosystém II
PS I	Fotosystém I
P680	Chlorofyl a s absorpčním maximem při 680 nm
P700	Chlorofyl a s absorpčním maximem při 700 nm
PVC	Polyvinylchlorid
MK	Mastné kyseliny
AA	Kyselina akrylová
KOH	Hydroxid draselný
MBA	Methylen–bis–akrylamid
KPS	Peroxodisíran draselný
NPK	Dusík–Fosfor–Draslík
LH	Lignohumát
HARFA	Harmonic and Fractal Analyzer

## 9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Postupné uvolňování nutrientů [7].....	11
Obrázek 2. Vliv množství nutrientů na růst rostlin [8] .....	12
Obrázek 3. Schéma rostlinné buňky [27] .....	15
Obrázek 4. Struktura chloroplastu [25] .....	16
Obrázek 5. Vegetativní stadia kukuřice [41].....	21
Obrázek 6. Reprodukční fáze kukuřice [41] .....	22
Obrázek 7. Trojúhelníkový diagram zrnitosti půd [47].....	24
Obrázek 8. Připravený superabsorbent CH .....	28
Obrázek 9. Rostliny kukuřice po týdenním růstu.....	29
Obrázek 10. Porovnání původního skenu (A) a upraveného (B) .....	30
Obrázek 11. Průměrné hmotnosti vypěstovaných rostlin pro časový úsek 46 dní.....	31
Obrázek 12. Průměrné délky kořenů vypěstovaných rostlin pro časový úsek 46 dní.....	32
Obrázek 13. Průměrná hmotnost vypěstovaných rostlin pro časový úsek 60 dní.....	32
Obrázek 14. Průměrné délky kořenů rostlin pro časový úsek 60 dní.....	33
Obrázek 15. Průměrné hmotnosti vypěstovaných rostlin pro časový úsek 74 dní.....	34
Obrázek 16. Průměrné procentuální zastoupení plochy kořenů pro časový úsek 46 dní .....	36
Obrázek 17. Průměrné procentuální zastoupení kořenů pro časový úsek 60 dní.....	36
Obrázek 18. Průměrné procentuální zastoupení plochy kořenů pro časový úsek 74 dní.....	37
Obrázek 19. UV spektrum pro vzorek H při časovém úseku 60 dní.....	39
Obrázek 20. Naměřené hodnoty pH pro časové úseky 60 a 74 dní .....	40
Obrázek 21. Naměřené hodnoty vodivosti pro časové úseky 60 a 74 dní.....	40
Obrázek 22. Množství fosforu ve vzorcích (modrá) pro časový úsek 60 dní v porovnání s původním vzorkem půdy (oranžová).....	42
Obrázek 23. Množství draslíku (modrá) ve vzorcích pro časový úsek 74 dní v porovnání s původním vzorkem půdy (oranžová).....	43
Obrázek 24. Naměřené hodnoty prvků v rostlinách.....	45
Obrázek 25. Naměřené hodnoty N, P, Mg a Ca v rostlinách .....	45

## 10 SEZNAM TABULEK

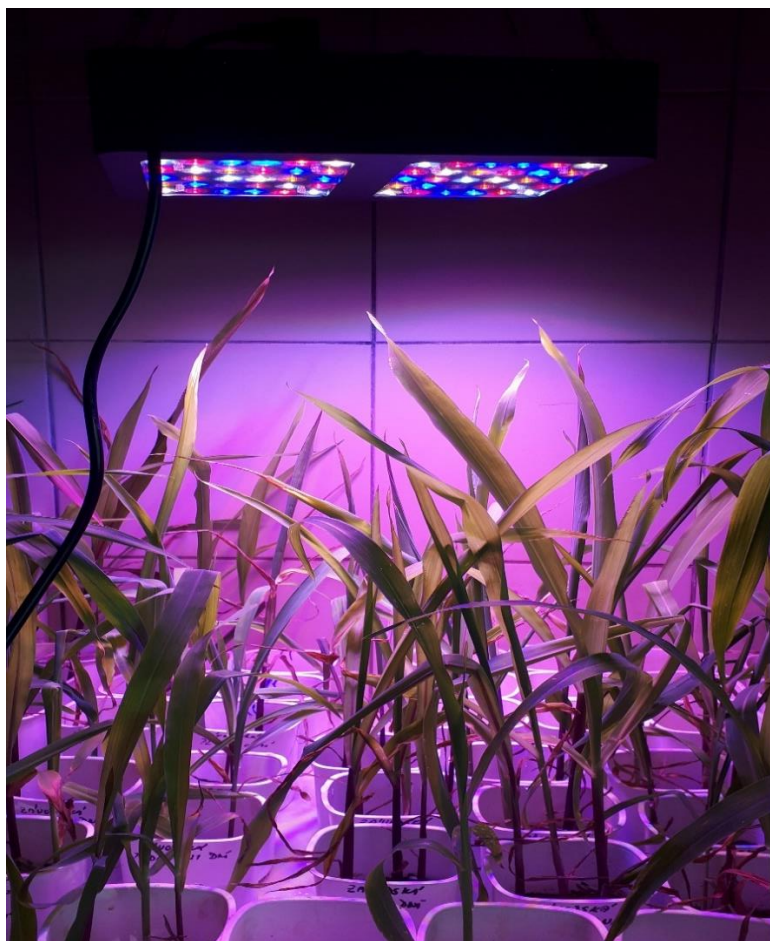
Tabulka 1. Klasifikační tabulka půd [43] .....	24
Tabulka 2. Receptury superabsorbentů .....	28
Tabulka 3. Ukázka naměřených a vypočtených hodnot z programu HARFA.....	35
Tabulka 4. Počet živých rostlin po pěstebním experimentu.....	37
Tabulka 5. Hodnoty procentuálního zastoupení objemu kořenů a jejich hmotností.....	38
Tabulka 6. Humifikační indexy pro jednotlivé vzorky .....	38
Tabulka 7. Naměřené hodnoty prvků v půdách pro časový úsek 60 dní .....	41
Tabulka 8. Naměřené hodnoty prvků pro časový úsek 74 dní .....	42

## 11 SEZNAM PŘÍLOH

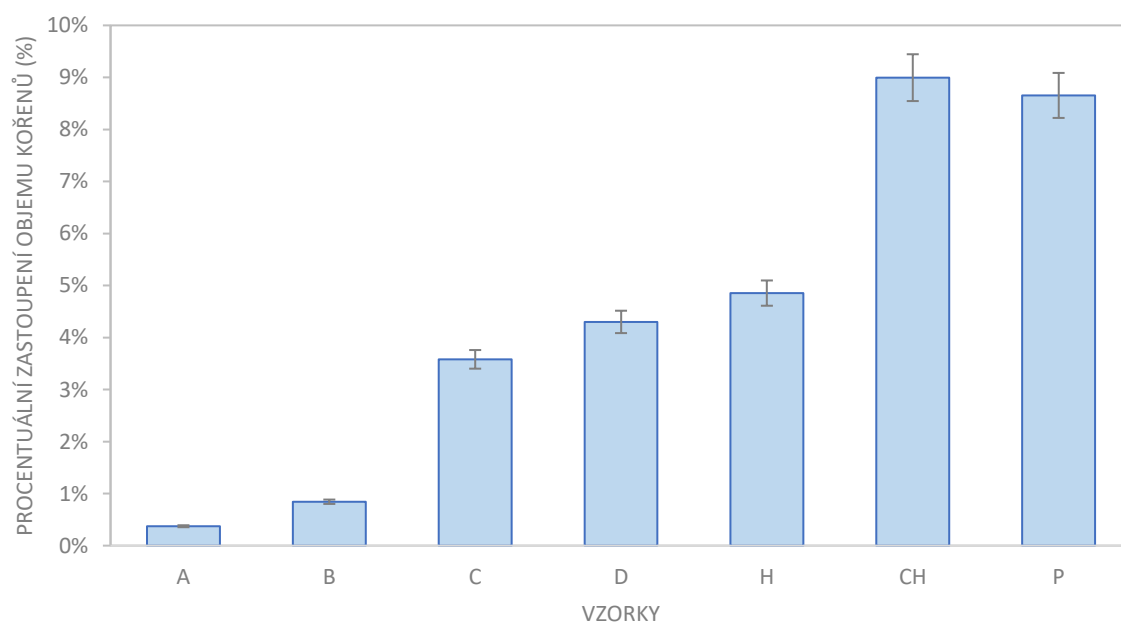
Příloha 1. Pěstování kukuřice pod UV lampou .....	57
Příloha 2. Průměrné procentuální zastoupení objemu kořenů pro časový úsek 46 dní.....	57
Příloha 3. Průměrné procentuální zastoupení objemu kořenů pro časový úsek 60 dní.....	58
Příloha 4. Průměrné procentuální zastoupení objemu kořenů pro časový úsek 74 dní.....	58
Příloha 7. Naměřené hodnoty a vypočtené hodnoty z programu HARFA pro čas 64 dní a hmotnosti rostlin.....	59
Příloha 8. Naměřené a vypočtené hodnoty z programu HARFA pro čas 46 dní a hmotnosti rostlin.....	60
Příloha 9. Naměřené a vypočtené hodnoty z programu HARFA pro časový úsek 60 dní a hmotnosti rostlin.....	61
Příloha 10. Naměřené a vypočtené hodnoty z programu HARFA pro časový úsek 60 dní a hmotnosti rostlin.....	62
Příloha 11. Naměřené a vypočtené hodnoty z programu HARFA pro časový úsek 74 dní a hmotnosti rostlin.....	63



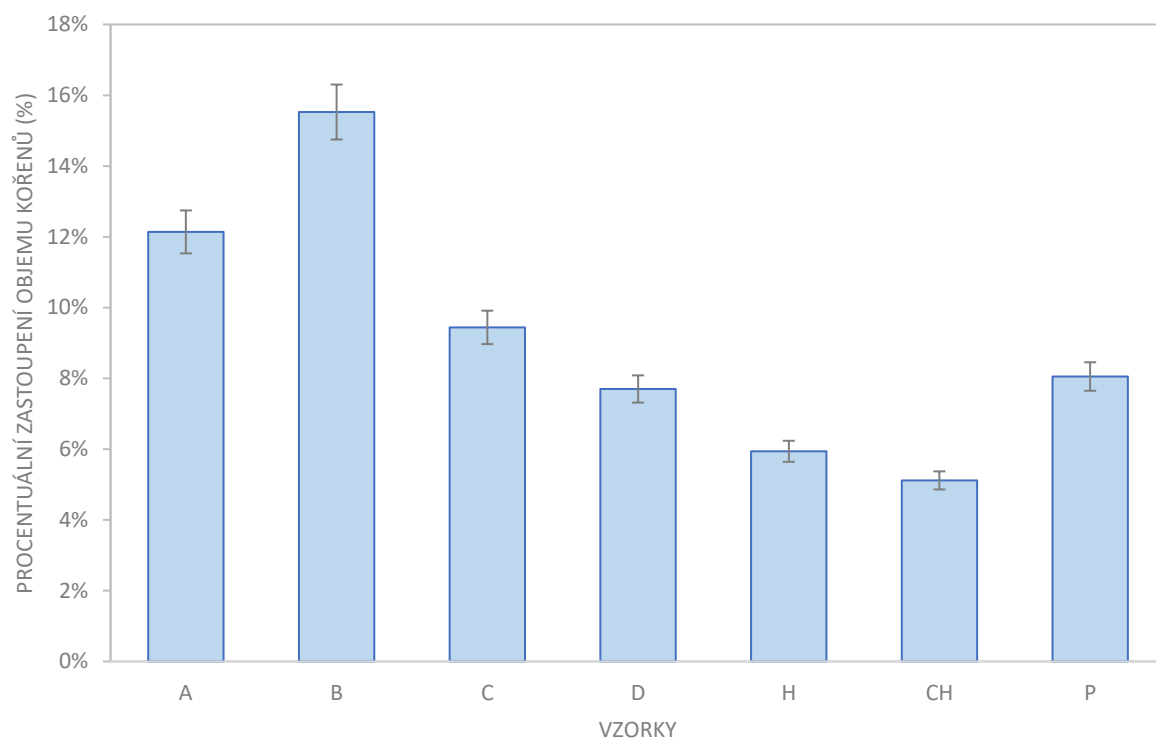
## 12 PŘÍLOHY



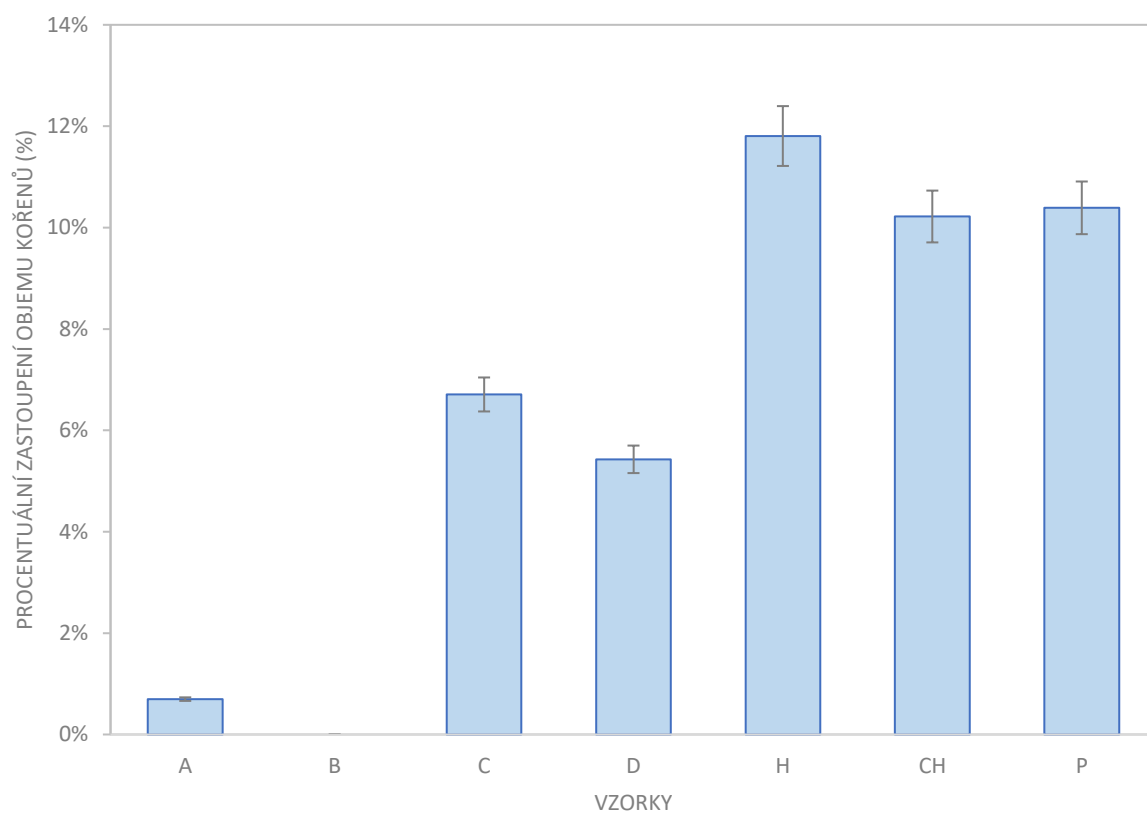
Příloha 1. Pěstování kukuřice pod UV lampou



Příloha 2. Průměrné procentuální zastoupení objemu kořenů pro časový úsek 46 dní



Příloha 3. Průměrné procentuální zastoupení objemu kořenů pro časový úsek 60 dní



Příloha 4. Průměrné procentuální zastoupení objemu kořenů pro časový úsek 74 dní

<b>Vzorek</b>	<b>B-2</b>	<b>B-3</b>	<b>B1-1</b>	<b>B1-2</b>	<b>B1-3</b>	<b>B2-1</b>	<b>B2-2</b>	<b>B2-3</b>	<b>C-1</b>	<b>C-3</b>	<b>C1-1</b>	<b>C1-2</b>	<b>C1-3</b>
<b>D(BW)</b>	1,174	1,313	1,252	1,273	1,199	1,033	1,364	1,198	1,158	1,449	1,377	1,313	1,528
<b>D(BBW)</b>	1,243	1,381	1,341	1,360	1,311	1,130	1,436	1,293	1,260	1,521	1,489	1,404	1,560
<b>K(BW)</b>	8,222	9,145	8,105	8,978	8,259	6,908	9,532	8,300	7,913	10,427	9,896	9,419	10,975
<b>K(BBW)</b>	8,570	9,486	8,552	9,413	8,824	7,392	9,901	8,779	8,420	10,798	10,470	9,883	11,140
<b>pix(BW)</b>	3723	9371	3310	7927	3862	1000	13797	4025	2734	33772	19841	12325	58367
<b>pix(BBW)</b>	5268	13179	5178	12247	6792	1623	19948	6498	4539	48942	35256	19585	68899
<b>rel.pix(BW)</b> [%]	0,355	0,894	0,316	0,756	0,368	0,095	1,316	0,384	0,261	3,221	1,892	1,175	5,566
<b>rel.pix(BBW)</b> [%]	0,502	1,257	0,494	1,168	0,648	0,155	1,902	0,620	0,433	4,668	3,362	1,868	6,571
<b>m (g)</b>	0,076	0,114	0,034	0,023	0,022	0,063	0,038	0,051	0,1168	0,1685	0,0618	0,3881	0,208
<b>Vzorek</b>	<b>C2-1</b>	<b>C2-2</b>	<b>C2-3</b>	<b>D-1</b>	<b>D-2</b>	<b>D-3</b>	<b>D1-2</b>	<b>D1-3</b>	<b>D2-1</b>	<b>D2-2</b>	<b>D2-3</b>	<b>H-1</b>	<b>H-2</b>
<b>D(BW)</b>	1,409	1,455	1,376	1,520	1,278	1,543	1,470	1,563	1,282	1,382	1,302	1,497	1,457
<b>D(BBW)</b>	1,501	1,509	1,469	1,562	1,328	1,579	1,527	1,619	1,348	1,479	1,380	1,548	1,506
<b>K(BW)</b>	10,289	10,448	9,842	10,829	9,167	11,085	10,590	11,261	9,003	9,608	9,161	10,716	10,519
<b>K(BBW)</b>	10,764	10,727	10,318	11,051	9,418	11,270	10,885	11,549	9,340	10,105	9,557	10,976	10,770
<b>pix(BW)</b>	29413	34468	18805	50438	9572	65212	39728	77730	8127	14877	9520	45049	36994
<b>pix(BBW)</b>	47292	45579	30273	62988	12308	78409	53380	103632	11384	24470	14149	58448	47548
<b>rel.pix(BW)</b> [%]	2,81	3,29	1,79	4,81	0,91	6,22	3,79	7,41	0,78	1,42	0,91	4,30	3,53
<b>rel.pix(BBW)</b> [%]	4,51	4,35	2,89	6,01	1,17	7,48	5,09	9,88	1,09	2,33	1,35	5,57	4,53
<b>m (g)</b>	0,258	0,305	0,207	0,186	0,087	0,548	0,513	0,403	0,177	0,634	0,219	0,329	0,290

Příloha 5. Naměřené hodnoty a vypočtené hodnoty z programu HARFA pro čas 64 dní a hmotnosti rostlin

<b>Vzorek</b>	<b>H-3</b>	<b>H1-1</b>	<b>H1-2</b>	<b>H1-3</b>	<b>H2-1</b>	<b>H2-2</b>	<b>H2-3</b>	<b>CH-1</b>	<b>CH-2</b>	<b>CH-3</b>	<b>CH1-2</b>
<b>D(BW)</b>	1,466	1,465	1,229	1,396	1,506	1,507	1,486	1,486	1,484	1,510	1,616
<b>D(BBW)</b>	1,512	1,539	1,324	1,475	1,603	1,566	1,552	1,553	1,534	1,619	1,668
<b>K(BW)</b>	10,595	10,253	8,827	9,740	10,872	10,876	10,746	10,691	10,740	10,939	11,563
<b>K(BBW)</b>	10,830	10,631	9,312	10,143	11,368	11,181	11,088	11,035	10,998	11,504	11,830
<b>pix(BW)</b>	39927	28370	6814	16978	52654	52886	46435	43976	46143	56303	105135
<b>pix(BBW)</b>	50534	41386	11071	25413	86543	71754	65375	62032	59749	99121	137283
<b>rel.pix(BW)</b> [%]	3,808	2,706	0,650	1,619	5,021	5,044	4,428	4,194	4,401	5,369	10,026
<b>rel.pix(BBW)</b> [%]	4,819	3,947	1,056	2,424	8,253	6,843	6,235	5,916	5,698	9,453	13,092
<b>m (g)</b>	0,253	0,265	0,081	0,277	0,685	0,520	0,549	0,410	0,257	0,444	1,150
<b>Vzorek</b>	<b>CH1-3</b>	<b>CH2-1</b>	<b>CH2-3</b>	<b>P-1</b>	<b>P-2</b>	<b>P1-1</b>	<b>P1-2</b>	<b>P1-3</b>	<b>P2-1</b>	<b>P2-2</b>	<b>P2-3</b>
<b>D(BW)</b>	1,433	1,582	1,615	1,458	1,422	1,477	1,539	1,557	1,582	1,572	1,575
<b>D(BBW)</b>	1,513	1,651	1,688	1,562	1,493	1,600	1,584	1,619	1,655	1,633	1,627
<b>K(BW)</b>	9,937	11,277	11,586	10,671	10,315	10,783	11,048	11,107	11,426	11,316	11,249
<b>K(BBW)</b>	10,346	11,638	11,968	11,208	10,677	11,418	11,285	11,428	11,800	11,633	11,517
<b>pix(BW)</b>	20688	78968	107560	43071	30176	48209	62843	66656	91647	82117	76780
<b>pix(BBW)</b>	31142	113357	157566	73688	43365	90962	79650	91840	133252	112736	100418
<b>rel.pix(BW)</b> [%]	1,973	7,531	10,258	4,108	2,878	4,598	5,993	6,357	8,740	7,831	7,322
<b>rel.pix(BBW)</b> [%]	2,970	10,811	15,027	7,027	4,136	8,675	7,596	8,759	12,708	10,751	9,577
<b>m (g)</b>	0,210	0,772	0,912	0,490	0,398	0,361	0,556	0,406	0,715	0,408	0,612

Příloha 6. Naměřené a vypočtené hodnoty z programu HARFA pro čas 46 dní a hmotnosti rostlin

<b>Vzorek</b>	<b>A_1</b>	<b>A_2</b>	<b>A_3</b>	<b>A1_1</b>	<b>A1_2</b>	<b>A1_3</b>	<b>A2_1</b>	<b>A2_2</b>	<b>A2_3</b>	<b>B_1</b>	<b>B_2</b>	<b>B_3</b>
<b>D(BW)</b>	1,596	1,603	1,536	1,578	1,608	1,566	1,364	1,524	1,466	1,541	1,615	1,532
<b>D(BBW)</b>	1,696	1,696	1,638	1,674	1,684	1,681	1,473	1,636	1,615	1,634	1,753	1,665
<b>K(BW)</b>	11,558	11,534	11,093	11,363	11,613	11,241	9,906	11,098	10,692	11,086	11,603	11,110
<b>K(BBW)</b>	12,080	12,017	11,622	11,860	12,010	11,837	10,467	11,679	11,461	11,566	12,319	11,803
<b>pix(BW)</b>	104621	102109	65723	86112	110503	76153	20048	66065	44007	65245	109382	66856
<b>pix(BBW)</b>	176293	165562	111469	141436	164407	138317	35119	118007	94949	105419	223888	133693
<b>rel.pix(BW) [%]</b>	9,977	9,738	6,268	8,212	10,538	7,263	1,912	6,300	4,197	6,222	10,431	6,376
<b>rel.pix(BBW) [%]</b>	16,813	15,789	10,630	13,488	15,679	13,191	3,349	11,254	9,055	10,054	21,352	12,750
<b>m (g)</b>	0,772	0,678	0,489	0,770	0,736	0,598	0,193	0,563	0,464	0,340	1,042	1,357
<b>Vzorek</b>	<b>B1_1</b>	<b>B1_2</b>	<b>B2_1</b>	<b>B2_2</b>	<b>B2_3</b>	<b>C_1</b>	<b>C_2</b>	<b>C_3</b>	<b>C1_1</b>	<b>C1_2</b>	<b>C1_3</b>	<b>C2_1</b>
<b>D(BW)</b>	1,532	1,594	1,590	1,550	1,562	1,305	1,590	1,528	1,519	1,549	1,493	1,402
<b>D(BBW)</b>	1,660	1,740	1,705	1,645	1,693	1,396	1,708	1,656	1,639	1,660	1,610	1,514
<b>K(BW)</b>	11,143	11,561	11,478	11,269	11,301	9,258	11,384	11,147	10,882	11,189	10,851	10,169
<b>K(BBW)</b>	11,806	12,323	12,077	11,764	11,982	9,724	11,998	11,816	11,502	11,766	11,458	10,747
<b>pix(BW)</b>	69099	104914	96568	78339	80927	10486	87886	69321	53215	72301	51606	26085
<b>pix(BBW)</b>	134027	224695	175800	128553	159819	16721	162462	135361	98904	128798	94656	46490
<b>rel.pix(BW) [%]</b>	6,590	10,005	9,209	7,471	7,718	1,000	8,381	6,611	5,075	6,895	4,922	2,488
<b>rel.pix(BBW) [%]</b>	12,782	21,429	16,766	12,260	15,242	1,595	15,494	12,909	9,432	12,283	9,027	4,434
<b>m (g)</b>	0,986	1,065	0,723	0,245	1,060	0,188	1,084	1,010	0,617	1,170	0,573	0,234

Příloha 7. Naměřené a vypočtené hodnoty z programu HARFA pro časový úsek 60 dní a hmotnosti rostlin

<b>Vzorek</b>	<b>C2_2</b>	<b>C2_3</b>	<b>D_1</b>	<b>D_2</b>	<b>D_3</b>	<b>D1_1</b>	<b>D1_2</b>	<b>D1_3</b>	<b>D2_1</b>	<b>D2_2</b>	<b>D2_3</b>	<b>H_1</b>	<b>H_2</b>
<b>D(BW)</b>	1,507	1,425	1,498	1,547	1,404	1,583	1,418	1,238	1,496	1,466	1,244	1,625	1,314
<b>D(BBW)</b>	1,626	1,565	1,624	1,662	1,525	1,757	1,520	1,352	1,603	1,549	1,339	1,703	1,394
<b>K(BW)</b>	10,890	10,427	10,783	11,193	10,266	11,411	10,205	9,009	10,871	10,542	9,032	11,633	9,013
<b>K(BBW)</b>	11,510	11,151	11,437	11,789	10,890	12,323	10,732	9,596	11,424	10,969	9,514	12,040	9,423
<b>pix(BW)</b>	53653	33749	48170	72649	28733	90337	27025	8180	52633	37862	8366	112758	8212
<b>pix(BBW)</b>	99708	69613	92707	131847	53648	224853	45789	14704	91501	58029	13552	169465	12371
<b>rel.pix(BW)</b> [%]	5,117	3,219	4,594	6,928	2,740	8,615	2,577	0,780	5,019	3,611	0,798	10,753	0,783
<b>rel.pix(BBW)</b> [%]	9,509	6,639	8,841	12,574	5,116	21,444	4,367	1,402	8,726	5,534	1,292	16,161	1,180
<b>m (g)</b>	0,767	0,572	0,304	0,814	0,462	1,126	0,784	0,087	0,984	0,452	0,153	0,920	0,077
<b>Vzorek</b>	<b>H_3</b>	<b>H1_3</b>	<b>H2_1</b>	<b>H2_2</b>	<b>CH_1</b>	<b>CH_3</b>	<b>CH1_1</b>	<b>CH1_2</b>	<b>CH1_3</b>	<b>CH2_2</b>	<b>CH2_3</b>	<b>P_3</b>	<b>P1_1</b>
<b>D(BW)</b>	1,514	1,355	1,577	1,163	1,527	1,307	1,437	1,417	1,393	1,343	1,505	1,472	1,521
<b>D(BBW)</b>	1,579	1,406	1,699	1,318	1,629	1,406	1,545	1,503	1,498	1,468	1,583	1,573	1,621
<b>K(BW)</b>	10,864	9,390	11,403	7,607	11,041	9,128	10,353	10,292	10,088	9,685	10,836	10,610	11,000
<b>K(BBW)</b>	11,198	9,648	12,033	8,410	11,568	9,631	10,905	10,735	10,627	10,326	11,240	11,134	11,517
<b>pix(BW)</b>	52245	11972	89572	2013	62368	9211	31338	29481	24050	16079	50833	40546	59844
<b>pix(BBW)</b>	72992	15485	168283	4492	105609	15222	54421	45931	41229	30525	76123	68425	100438
<b>rel.pix(BW)</b> [%]	4,982	1,142	8,542	0,192	5,948	0,878	2,989	2,812	2,294	1,533	4,848	3,867	5,707
<b>rel.pix(BBW)</b> [%]	6,961	1,477	16,049	0,428	10,072	1,452	5,190	4,380	3,932	2,911	7,260	6,526	9,579
<b>m (g)</b>	0,173	0,134	0,950	0,090	0,813	0,182	0,447	0,264	0,126	0,326	0,326	0,357	0,385

Příloha 8. Naměřené a vypočtené hodnoty z programu HARFA pro časový úsek 60 dní a hmotnosti rostlin

<b>Vzorek</b>	<b>A_1</b>	<b>A1_2</b>	<b>A1_3</b>	<b>C_1</b>	<b>C_2</b>	<b>C1_1</b>	<b>C2_1</b>	<b>D1_1</b>	<b>H_2</b>	<b>H_3</b>	<b>H2_2</b>	<b>CH_2</b>	<b>P_1</b>	<b>P2_2</b>
<b>D(BW)</b>	1,053	0,766	1,127	1,316	1,366	1,418	1,378	1,345	1,426	1,508	1,478	1,435	1,451	1,482
<b>D(BBW)</b>	1,221	0,929	1,315	1,477	1,516	1,581	1,565	1,532	1,553	1,683	1,655	1,606	1,594	1,628
<b>K(BW)</b>	8,050	6,217	8,664	10,020	10,286	10,174	10,373	10,070	10,631	11,197	10,925	10,774	10,872	10,964
<b>K(BBW)</b>	8,825	7,151	9,537	10,777	10,990	11,483	11,253	10,949	11,227	12,030	11,764	11,582	11,542	11,653
<b>pix(BW)</b>	3134	501	5791	22480	29328	26210	31984	23633	41415	72919	55553	47748	52654	57769
<b>pix(BBW)</b>	6805	1275	13861	47906	59278	97061	77103	56920	75132	167695	128566	107152	102899	114990
<b>rel.pix(BW)</b> [%]	0,299	0,048	0,552	2,144	2,797	2,500	3,050	2,254	3,950	6,954	5,298	4,554	5,021	5,509
<b>rel.pix(BBW)</b> [%]	0,649	0,122	1,322	4,569	5,653	9,257	7,353	5,428	7,165	15,993	12,261	10,219	9,813	10,966
<b>m (g)</b>	0,1553	0,0861	0,1305	0,9023	0,8223	0,1456	0,6998	0,5206	0,2979	1,7539	1,3683	0,8528	1,1600	0,7577

Příloha 9. Naměřené a vypočtené hodnoty z programu HARFA pro časový úsek 74 dní a hmotnosti rostlin